

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



“Análisis Estructural de red de Caminos Básicos por conservación, Región de Valparaíso, con fines de Pronóstico”

Por

Rodrigo Soto Mansilla

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil

Prof. Mauricio Pinto Quintana

Diciembre, 2014

Agradecimientos

Agradezco, en primer lugar, a Dios por darme fuerza y estar siempre a mi lado en este proceso de aprendizaje a lo largo de la vida.

También, en forma especial, a mi familia, la que estuvo siempre pendiente de apoyarme y darme fuerza en este largo caminar universitario, donde en cada palabra de aliento inyectaron energía y alegría, para aprovechar a fondo esta etapa de estudiante. Agradezco a Mi Padre, mi Madre, mis Hermanos, a Viviana y a Sofía, quienes fueron gran parte de mi inspiración para seguir adelante en los momentos más difíciles.

En forma especial agradezco al profesor Mauricio Pinto Quintana, quien supo guiarme de manera excelente en cada momento de aprendizaje, mostrando siempre disposición a escuchar y guiar, entregando la motivación necesaria para desarrollar y concluir este trabajo.

Finalmente, agradezco a cada uno de los profesionales y profesores que, sin duda, aportaron su experiencia y carisma, para complementar el baúl de herramientas que facilitarán mi desempeño como Ingeniero Civil de la Universidad de Valparaíso.

A Todos, simplemente ¡Muchas Gracias!

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO I | 12 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1.1 <i>Planteamiento del Problema</i> | 12 |
| 1.2 <i>Objetivos</i> | 13 |
| 1.2.1 <i>Objetivo General:</i> | 13 |
| 1.2.2 <i>Objetivos Específicos:</i> | 13 |
| 1.3 <i>Alcances de la Investigación</i> | 14 |
| 1.4 <i>Metodología</i> | 15 |
| CAPÍTULO 2..... | 16 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 16 |
| 2.1 <i>Antecedentes Programa Caminos Básicos</i> | 16 |
| 2.2 <i>Descripción de Caminos Básicos</i> | 17 |
| 2.2.1 <i>Caminos Básicos por Conservación (CBC)</i> | 17 |
| 2.2.1.1 <i>Requisitos Caminos Básicos por Conservación (CBC)</i> | 18 |
| 2.2.2 <i>Caminos Básicos Intermedios (CBI)</i> | 20 |
| 2.2.2.1 <i>Requisitos Caminos Básicos Intermedios (CBI)</i> | 21 |
| 2.3 <i>Situación actual de intervención Nacional de Caminos Básicos por Conservación (CBC) y Caminos Básicos Intermedios (CBI)</i> | 21 |
| 2.4 <i>Aspectos Generales Sobre la Conservación de Caminos</i> | 25 |
| 2.4.1 <i>Componentes de la Conservación</i> | 25 |
| 2.4.1.1 <i>Saneamiento</i> | 26 |
| 2.4.1.2 <i>Señalización</i> | 26 |
| 2.4.1.3 <i>Conservación de la Carpeta de Rodadura</i> | 26 |
| 2.4.2 <i>Operaciones de Conservación</i> | 26 |
| 2.4.2.1 <i>Operaciones de Conservación Rutinaria</i> | 27 |
| 2.4.2.2 <i>Operación de Conservación Periódica</i> | 27 |
| 2.4.3 <i>Modalidades de Ejecución de Obras de Conservación</i> | 27 |
| 2.4.3.1 <i>Administración directa</i> | 27 |
| 2.4.3.2 <i>Contratos tradicionales de conservación</i> | 28 |
| 2.4.3.3 <i>Contratos Globales</i> | 28 |
| 2.4.3.4 <i>Contratos Globales Mixtos</i> | 28 |
| 2.4.3.5 <i>Concesión de Mantenimiento</i> | 28 |
| 2.5 <i>Caracterización de Soluciones Básicas y Caminos de bajo volumen de tránsito</i> | 29 |
| 2.5.1 <i>Solución Básica</i> | 29 |
| 2.5.2 <i>Caminos de bajo volumen de tránsito</i> | 29 |
| 2.6 <i>Soluciones Básicas aplicadas a las carpetas de rodadura de caminos de bajo tránsito</i> .. | 30 |
| 2.6.1 <i>Soluciones Básicas con estabilizaciones de capas granulares:</i> | 30 |
| 2.6.1.1 <i>Cloruro De Magnesio (Bischofita)</i> | 30 |
| 2.6.1.2 <i>Cloruro de Sodio</i> | 32 |
| 2.6.1.3 <i>Cloruro de Calcio</i> | 33 |
| 2.6.1.4 <i>Proes</i> | 34 |
| 2.6.1.5 <i>Fito Soil</i> | 35 |
| 2.6.2 <i>Soluciones Básicas con capas de protección (CAPRO)</i> | 36 |
| 2.6.2.1 <i>Tratamiento Superficial Simple (TSS) y Doble Tratamiento Superficial (DTS)</i> | 36 |
| 2.6.2.2 <i>Carpeta Mezcla Asfáltica</i> | 37 |
| 2.6.2.3 <i>Imprimación Reforzada</i> | 38 |
| 2.6.2.4 <i>Lechada Asfáltica</i> | 39 |
| 2.6.2.5 <i>Otta seal</i> | 41 |

| | | |
|------------------------|---|-----------|
| 2.6.2.6 | Cape Seal..... | 43 |
| 2.7 | <i>Criterios y selección de parámetros de diseño para caminos de Bajo Volumen de Tránsito.</i> | 44 |
| 2.7.1 | Serviciabilidad | 44 |
| 2.7.1.1 | Índice de Regularidad Internacional (IRI) | 44 |
| 2.7.2 | Tránsito de diseño | 46 |
| 2.7.2.1 | Período de Diseño Estructural. | 46 |
| 2.7.2.2 | TMDA y Tasa de Crecimiento. | 46 |
| 2.7.2.3 | Estratigrafía de carga. | 47 |
| 2.8 | <i>Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles (Tratamientos Superficiales).</i> | 47 |
| 2.8.1 | Método de Diseño Morin – Todor..... | 47 |
| 2.8.2 | Definición de Paramentos de Diseño Estructural de Tratamientos Superficiales (TSS)..... | 49 |
| 2.8.2.1 | Ejes equivalentes (EE). | 49 |
| 2.8.2.2 | Factor de ejes equivalentes (Feq). | 49 |
| 2.8.2.3 | Coeficiente de variación (v)..... | 49 |
| 2.8.2.4 | Espesor Mínimo de recubrimiento (<i>emin</i>). | 49 |
| 2.9 | <i>Deterioros en Tratamientos Superficiales</i> | 50 |
| 2.9.1 | Unidades y Zonas de Muestreo | 50 |
| 2.9.1.1 | Unidades de Muestreo para Inspección de Caminos a Nivel de Red | 50 |
| 2.9.2 | Agrietamiento Estructural. | 51 |
| 2.9.2.1 | Fisuras y grietas longitudinales. | 51 |
| 2.9.2.2 | Fisuras y grietas por fatiga. | 51 |
| 2.9.2.3 | Pérdida de áridos. | 52 |
| 2.9.2.4 | Baches abiertos..... | 53 |
| 2.9.2.5 | Ahuellamiento..... | 53 |
| 2.9.2.6 | Exudación..... | 54 |
| 2.9.2.7 | Descenso de la berma..... | 54 |
| CAPÍTULO 3..... | | 55 |
| 3. | ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS SOLUCIONES BÁSICAS..... | 55 |
| 3.1 | <i>Comportamientos de las Estabilizaciones Granulares</i> | 55 |
| 3.2 | <i>Comportamientos de las Capas de Protección</i> | 56 |
| 3.3 | <i>Auscultación en Soluciones con Capa de Protección</i> | 57 |
| 3.3.1 | Inspección Visual | 57 |
| CAPÍTULO 4..... | | 58 |
| 4. | ANTECEDENTES GENERALES DE RUTAS SELECCIONADAS..... | 58 |
| 4.1 | <i>Ubicación de rutas</i> | 58 |
| 4.2 | <i>CBR de subrasante de rutas seleccionadas.</i> | 59 |
| 4.3 | <i>Porcentaje de Baches, existentes en Rutas seleccionadas.</i> | 60 |
| 4.4 | <i>TMDA de Rutas estudiadas.</i> | 61 |
| CAPÍTULO 5..... | | 63 |
| 5. | DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA PARA ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL EN INTERVENCIONES DE CONSERVACIÓN, PARA RUTAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO. | 63 |
| 5.1 | <i>Ecuaciones obtenidas para diferentes rangos de CBR de Subrasante</i> | 65 |
| 5.1.1.1 | Descripción metodológica para estimación de período de duración de las rutas (elaboración propia). 74 | |
| 5.1.1.2 | Ejemplo de Aplicación de Metodología: | 74 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 6..... | 77 |
| 6. COMPROBACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES SIMPLES (TSS)..... | 77 |
| 6.1 <i>Cálculo de Índice Estructural (IE)</i> | 78 |
| 6.1.1 Ejes equivalentes (EE)..... | 78 |
| 6.1.2 Coeficiente de Variación (v)..... | 78 |
| 6.1.3 Índice Estructural (IE)..... | 79 |
| 6.2 <i>Diseño de Estructura</i> | 80 |
| 6.2.1 Espesor mínimo de recubrimiento (<i>emin</i>)..... | 80 |
| 6.2.2 Estructuración..... | 81 |
| 6.2.2.1 Cálculo de Índices Estructurales..... | 81 |
| 6.2.2.2 Verificación de Estructuración..... | 87 |
| CAPÍTULO 7..... | 90 |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 90 |
| 7.1 <i>Deficiencias en diseño y estructuración</i> | 90 |
| 7.1.1 Índice estructural (IE)..... | 90 |
| 7.1.2 Espesor mínimo de Recubrimiento (<i>emin</i>)..... | 91 |
| 7.2 <i>Estudio, análisis y Modelos de Deterioro</i> | 91 |
| 7.2.1 Deterioros de TSS..... | 91 |
| 7.2.1.1 Estudio de Tránsitos..... | 92 |
| 7.2.1.2 Estudio de suelos..... | 92 |
| 7.2.1.3 Estudio hidrológico..... | 92 |
| 7.2.1.4 Metodología de evaluación de vida útil..... | 92 |
| 7.3 <i>Recomendación general</i> | 93 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA..... | 94 |
| ANEXO A..... | 96 |
| ANEXO B..... | 99 |
| ANEXO C..... | 115 |
| ANEXO D..... | 117 |
| ANEXO E..... | 119 |

Lista de abreviaturas, siglas y símbolos

- ✓ **Caminos Básicos:** Caminos de bajo tránsito cuya carpeta de rodadura es tratada con alguna técnica innovadora que mejora el nivel de servicio.
- ✓ **Exudación:** Presencia de asfalto sin árido en la superficie, que habitualmente forma una película brillante, y a veces, pegajosa. (*Catálogo de Deterioros de Pavimentos, Manual de Carreteras, Volumen 7, Capítulo 2.6*).
- ✓ **IRI:** Índice de Regularidad Internacional.
- ✓ **CCBB:** Caminos Básicos.
- ✓ **CBI:** Caminos Básicos Intermedios. Son proyectos de Caminos Básicos que debido a sus características y monto a invertir deben ser rentables de acuerdo a metodología acordada con MIDESO (Ministerio de Desarrollo Social).
- ✓ **CBC:** Caminos Básicos por Conservación. Son proyectos de Caminos Básicos que debido a sus características y bajo monto de inversión se ejecutan a través del Programa de Conservación Vial de la Dirección Nacional de Vialidad.
- ✓ **DIPRES:** Dirección de Presupuestos, Ministerio de Hacienda.
- ✓ **MIDESO:** Ministerio de Desarrollo Social.
- ✓ **DRV:** Dirección Regional de Vialidad.
- ✓ **DNV o DV:** Director Nacional de Vialidad.
- ✓ **DIRPLAN:** Dirección Nacional de Planeamiento.
- ✓ **TMDA:** Tránsito Medio Diario Anual.
- ✓ **M. de C. o MC:** Manual de Carreteras.
- ✓ **MC V7:** Manual de Carreteras, Volumen 7
- ✓ **Bischofita:** Cloruro de Magnesio Hexahidratado
- ✓ **TS:** Tratamiento Superficial.
- ✓ **TSS:** Tratamiento Superficial Simple.
- ✓ **DTS:** Doble Tratamiento Superficial.
- ✓ **EE:** Ejes Equivalentes.
- ✓ **MEE:** Millones de Ejes Equivalentes.

- ✓ **HDM-4:** Highway Design and Management, programa computacional usado como herramienta para el análisis, la planificación, gestión y evaluación del mantenimiento, mejoramiento y decisiones de inversión de carreteras.

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.1: DISTRIBUCIÓN DE LA RED NACIONAL, SEGÚN CARPETA DE RODADURA. FUENTE: RED VIAL NACIONAL DIMENSIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS, 2012. | 17 |
| FIGURA 2.2: CURVAS MONTOS MÁXIMOS DE INVERSIÓN POR KILÓMETRO ZONA CENTRAL. FUENTE: CAMINOS BÁSICOS CBC Y CBI, DIRECCIÓN DE VIALIDAD 2014. | 20 |
| FIGURA 2.3: CURVA DE INTERVENCIÓN DE CAMINOS BÁSICOS POR CONSERVACIÓN 2003-2013. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 23 |
| FIGURA 2.4: CURVA INVERSIÓN REALIZADA DE CAMINOS BÁSICOS POR CONSERVACIÓN, 2003 -2013, FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 24 |
| FIGURA 2.5: TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE (TSS) | 36 |
| FIGURA 2.6: TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE (DTS) | 37 |
| FIGURA 2.7: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MODELO "CUARTO DE CARRO" FUENTE: "ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD EN LA RED CARRETERA DE MÉXICO", 1998..... | 45 |
| FIGURA 2.8: PUNTOS CENSALES CERCANOS A VIÑA DEL MAR, V REGIÓN..... | 47 |
| FIGURA 2.9: UNIDAD Y ZONA DE MUESTREO PARA PAVIMENTO ASFÁLTICO, FUENTE: INSTRUCTIVO DE INSPECCIÓN VISUAL DE CAMINOS PAVIMENTADOS, 2010. | 50 |
| FIGURA 2.10: ESQUEMA DE GRIETAS LINEALES, FUENTE: INSTRUCTIVO DE INSPECCIÓN VISUAL DE CAMINOS PAVIMENTADOS, 2010. | 51 |
| FIGURA 2.11: GRIETAS TIPO PIEL DE COCODRILO | 52 |
| FIGURA 2.12: BACHES ABIERTOS EN CARPETA CON TSS..... | 53 |
| FIGURA 5.1: ESTRATIGRAFÍA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE (TSS)..... | 63 |
| FIGURA 5.2: PORCENTAJE DE BACHES EN BASE A TRÁNSITOS MEDIOS DIARIOS ANUALES (TMDA) | 65 |
| FIGURA 5.3: VIDA ÚTIL DE DISEÑO DE TSS..... | 72 |
| FIGURA 5.4: PORCENTAJE DE BACHES VS TMDA..... | 74 |
| FIGURA 5.5 EJEMPLO DE DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA, PARA PRONOSTICAR VIDA ÚTIL DE RUTA..... | 75 |
| FIGURA 6.1 INFLUENCIA DE EE SOBRE IE | 88 |
| FIGURA 6.2: COMPARACIÓN ENTRE IE REQUERIDO E IE CALCULADO. | 88 |
| FIGURA 6.3 DIFERENCIAS DE ESPESOR DE BASE ESTABILIZADA UTILIZADA VS ESPESOR MÍNIMO DE RECUBRIMIENTO (<i>emin</i>) | 89 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| TABLA 2.1: INVERSIÓN POR KILÓMETRO SURGEN DE LOS ACUERDOS MOP-DIPRES-MDS, ACTUALIZADOS..... | 19 |
| TABLA 2.2: MONTO MÁXIMOS POR KILÓMETRO VIGENTE, 2011..... | 21 |
| TABLA 2.3: LONGITUD DE CAMINOS BÁSICOS POR CONSERVACIÓN (KM) EJECUTADOS EN EL PERÍODO 2003 – 2013 | 22 |
| TABLA 2.4: INVERSIÓN EN CAMINOS BÁSICOS POR CONSERVACIÓN PERÍODO 2003 – 2013 (EN MM\$ AL AÑO)..... | 23 |
| TABLA 2.5: LONGITUD (KM) DE CCBB INTERMEDIOS EJECUTADOS ENTRE 2012 Y 2013, Y PROGRAMADO EJECUTAR AÑO 2014 | 24 |
| TABLA 2.6: INVERSIÓN REALIZADA EN CCBB INTERMEDIOS ENTRE 2012 Y 2013, E INVERSIÓN PROGRAMADA AÑO 2014 (MM\$ DE CADA AÑO)..... | 25 |
| TABLA 2.7: COMPOSICIÓN CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA) | 31 |
| TABLA 2.8: DOSIS DE BISCHOFITA | 32 |
| TABLA 2.9: GRANULOMETRÍA RECOMENDADA PARA SUPERFICIES GRANULARES DE RODADO. | 32 |
| TABLA 2.10: DOSIFICACIÓN TÍPICA DE CEMENTO ASFÁLTICO Y AGREGADO PÉTREO | 37 |
| TABLA 2.11: GRANULOMETRÍA DE ARENAS. | 38 |
| TABLA 2.12: REQUISITOS DE AGREGADOS | 39 |
| TABLA 2.13: REQUISITOS PARA LA EMULSIÓN DE QUIEBRE CONTROLADO MODIFICADAS CON POLÍMERO. | 40 |
| TABLA 2.14: REQUISITOS DE LOS ÁRIDOS PARA LECHADA ASFÁLTICA. | 40 |
| TABLA 2.15: BANDAS GRANULOMÉTRICAS PARA ÁRIDOS DE PRIMERA CAPA Y LECHADA ASFÁLTICA. | 41 |
| TABLA 2.16: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO PÉTREO UTILIZADO PARA OTTA SEAL. | 42 |
| TABLA 2.17: TIPOS DE CEMENTOS ASFÁLTICOS APLICADOS PARA EL OTTA SEAL. | 42 |
| TABLA 2.18: GRANULOMETRÍA DE MATERIAL PÉTREO PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL EN CAPE SEAL..... | 43 |
| TABLA 2.19: GRANULOMETRÍA DE MATERIALES PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES (TS)..... | 44 |
| TABLA 3.1: DURACIÓN ANTES DE LA CONSERVACIÓN DE LOS CAMINOS CON CAPA DE PROTECCIÓN | 56 |
| TABLA 4.1: RESUMEN DE RUTAS SELECCIONADAS REGIÓN DE VALPARAÍSO. | 59 |
| TABLA 4.2: CBR SUBRASANTE POR RUTAS..... | 60 |
| TABLA 4.3: RESUMEN DE PORCENTAJE DE BACHES DE RUTAS SELECCIONADAS. | 61 |
| TABLA 4.4: TRÁNSITOS DE DISEÑO 2010 Y 2014, DE RUTAS SELECCIONADAS..... | 62 |

| | |
|--|----|
| TABLA 5.1: RESUMEN DE DATOS DE ANÁLISIS | 64 |
| TABLA 5.2: PORCENTAJE DE BACHES Y TRÁNSITOS PROYECTADOS, 2014 | 66 |
| TABLA 5.3: DURACIÓN ANTES DE LA CONSERVACIÓN DE LOS CAMINOS CON CAPA DE PROTECCIÓN | 68 |
| TABLA 5.4: PLANILLA DE VIDA ÚTIL (AÑOS) EN FUNCIÓN DE PORCENTAJES DE BACHES INICIAL..... | 69 |
| TABLA 6.1: VALORES DE TASAS DE CRECIMIENTO (T.C) Y FACTOR DE EQUIVALENCIA (FEQ) | 77 |
| TABLA 6.2: VALORES UTILIZADOS PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE RUTAS SELECCIONADAS | 78 |
| TABLA 6.3: ÍNDICES ESTRUCTURALES (IE), PARA RUTAS SELECCIONADAS..... | 79 |
| TABLA 6.4: ESPESORES MÍNIMOS DE RECUBRIMIENTO (EMIN), PARA RUTAS SELECCIONADAS. | 80 |
| TABLA 6.5: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°1 | 81 |
| TABLA 6.6: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°2 | 82 |
| TABLA 6.7: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°3 | 82 |
| TABLA 6.8: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°4 | 82 |
| TABLA 6.9: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°5 | 83 |
| TABLA 6.10: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°6 | 83 |
| TABLA 6.11: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°7 | 83 |
| TABLA 6.12: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°8 | 84 |
| TABLA 6.13: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°9 | 84 |
| TABLA 6.14: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°10 | 84 |
| TABLA 6.15: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°11 | 85 |
| TABLA 6.16: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°12 | 85 |
| TABLA 6.17: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°13 | 85 |
| TABLA 6.18: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°14 | 86 |
| TABLA 6.19: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°15 | 86 |
| TABLA 6.20: CÁLCULO DE ÍNDICE ESTRUCTURAL, RUTA N°16 | 86 |
| TABLA 6.21: VERIFICACIÓN DE ESTRUCTURACIÓN TSS, RUTAS | 87 |

Resumen

Chile cuenta con una red vial de aproximadamente 80.000 kilómetros en tuición del Ministerio de Obras Públicas (según el documento “Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características”, editado en junio de 2010), de los cuales un 22% corresponde a red vial pavimentada, un 67% a red vial no pavimentada (camino de tierra y ripio) y un 11% a caminos con Soluciones Básicas, es decir, con aplicación de estabilizadores químicos o capas delgadas de asfalto sobre la carpeta de rodadura (“CAPROS”). Su objetivo es brindar una durabilidad mayor que la obtenida con una conservación tradicional, reduciendo la frecuencia de las intervenciones de conservación periódica y rutinaria, y de paso, mejorar el IRI y disminuir o eliminar la emisión de polvo y generación de lodo.

En la actualidad, existe un alto grado de conocimiento en relación con los requisitos exigidos para cada tipo de Camino Básico, además de las posibles soluciones aplicables (estabilizadores de suelos o tratamientos superficiales). Pero, bajo este contexto, surge una problemática, pues a pesar de los variados tipos de intervenciones de conservación con diferentes características de selección, las rutas no logran una duración bajo condiciones de serviciabilidad apropiada debido a que no pueden ser diseñadas por métodos tradicionales, ya que los montos asignados para este tipo de operación no se encuentran dentro de límites presupuestarios establecidos para la categoría de Conservación, debido a su vez al alto costo en operaciones, tales como ensanches, saneamientos, etc. Es por esto que en el presente trabajo se abordará una red de caminos básicos por conservación de la Quinta Región de Valparaíso, en las que se desarrollará un análisis enfocado, principalmente, a pronosticar y evaluar la Vida Útil de la red de caminos estudiada, teniendo en consideración las variables estructurales influyentes en el deterioro de las carpetas de rodado (tratamientos superficiales simples).

Por otro lado este estudio se enfocará en describir una metodología, que permita como primera etapa evaluar y pronosticar la vida útil de caminos básicos intervenidos con el tipo de solución mencionado en el párrafo anterior (TSS), teniendo como objetivo impulsar el primer paso para un estudio especializado de este tipo de rutas de bajo volumen de tránsito.

Capítulo I

1. Introducción

1.1 Planteamiento del Problema

De acuerdo a las cifras publicadas en “Red vial” (2010), Chile cuenta con una red vial de aproximadamente 80.000 kilómetros en tuición del Ministerio de Obras Públicas (según el documento “Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características”, editado en junio de 2010), de los cuales un 22% corresponde a red vial pavimentada, un 67% a red vial no pavimentada (camino de tierra y ripio) y un 11% a caminos con soluciones básicas, es decir, con aplicación de estabilizadores químicos o capas delgadas de asfalto sobre la carpeta de rodadura (“CAPROS”). Por esta razón, existe en la actualidad una amplia red de caminos de tierra y ripio, que no han sido intervenidos bajo ningún tipo de solución, sea ésta “intervención tradicional” o “solución básica”, generando un impulso a la búsqueda y análisis de alternativas de bajo costo, de rápida ejecución y menor mantenimiento, que ayuden a la solución de problemas tales como:

- la calidad de vida de los habitantes del entorno del camino, disminuyendo o eliminando el polvo generado por el tránsito;
- los elevados costos de conservación originados por los frecuentes reperfilados de caminos de ripio o tierra;
- las bajas o nulas condiciones de seguridad vial generadas por el ripio suelto y el polvo emitido por la circulación de vehículos;
- y el impacto ambiental en actividades productivas como la fruticultura y otros cultivos ubicados en sectores circundantes a las rutas.

Debido a los problemas enunciados y bajo el concepto de caminos con Solución Básica, la Dirección de Vialidad establece un plan, que comprendió la ejecución de intervenciones sobre caminos no pavimentados de bajo tránsito, cuyo mejoramiento y pavimentación convencionales no eran posibles por su baja rentabilidad ante el Sistema Nacional de Inversiones, definiendo así los caminos básicos por conservación (CBC) y caminos básicos intermedios (CBI).

En la actualidad, existe un alto grado de conocimiento en relación con requisitos exigidos para cada tipo de camino básico, además de las posibles soluciones aplicables (estabilizadores de suelos o tratamientos superficiales). Pero bajo este contexto, surge una nueva problemática, pues a pesar de los variados tipos de intervenciones de conservación con diferentes características de selección, las rutas no logran una duración bajo condiciones de serviciabilidad apropiada, debido a que no pueden ser diseñadas por métodos tradicionales ya que los montos asignados para este tipo de operación no se encuentran dentro de límites presupuestarios establecidos para la categoría de conservación, debido, a su vez, al alto costo en operaciones como ensanches, saneamiento, etc. Además, este tipo de soluciones básicas no integran en su totalidad la red vial no pavimentada, por lo que existen tramos que no son considerados en ningún tipo de solución, debido a limitaciones en el diseño ingenieril de las rutas, tales como cambios de eje, anchos de calzadas insuficientes, movimientos de tierra excesivos, baja rentabilidad por efecto de baja frecuencia en el tránsito, entre otras, razón por la cual es necesario generar, actualizar, proponer o modificar los requisitos y/o criterios de diseño ingenieril y de selección para ambos tipos de conservación, “CBC y CBI”, con el fin de poder optar a financiamientos destinados a esta categoría (conservación), además de ampliar el espectro de rutas que puedan ser conservadas, y de mejorar la vida útil de los caminos que serán ejecutados en futuros proyectos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General:

Analizar técnicamente diferentes alternativas de conservación vial, proponiendo y evaluando nuevos criterios de diseño de ingeniería, en concordancia con las políticas de solución básica utilizando la base de aplicación de capa asfáltica delgada (CAPROS), en caminos de la Región de Valparaíso.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Desarrollar cálculo y diseño estructural de ingeniería de red de caminos de bajo tránsito.
- ✓ Evaluar técnicamente alternativas de solución básica de red vial seleccionada, basándose en análisis de Modelos de Deterioro y diseño estructural, teniendo en consideración datos obtenidos de registro de auscultaciones desarrolladas en terreno por el Departamento de Conservación de la Dirección de Vialidad de la Quinta Región, y procedimientos de cálculo definidos en Manual de Carreteras Vol. 3, 2013.
- ✓ Definir metodología de evaluación para estimación de vida útil de caminos de bajo volumen de tránsito.

1.3 Alcances de la Investigación.

El presente trabajo de título, se desarrolla la propuesta, análisis y diseño para Caminos de Soluciones Básicas del tipo Capas de Protección (CAPRO) presentes en la Zona Central del país, Región de Valparaíso, enfocándose en rutas de bajo tránsito y carpetas de rodado tipo Tratamientos Superficiales. Por otro lado, dicho estudio se basa en criterios presentes bajo límites de conservación vial, ya sea caminos básicos por conservación (CBC) o los caminos básicos intermedios (CBI), por lo que se excluirá toda ruta que deba ser analizada o estudiada con criterios de mejoramiento vial o aquellas que no estén dentro de los límites de conservación de caminos.

El principal enfoque del presente estudio se fundamenta en criterios de diseño estructural de cada ruta, es por esto que las condiciones iniciales de cada camino perteneciente a la red vial seleccionada en la región, se enfoca principalmente en los estados estructurales presentes en cada caso.

Este estudio se realiza desde el punto de vista teórico y cuantitativo, por lo que no se desarrollan ensayos o estudios experimentales para la obtención y/o análisis de resultados. Sin embargo, se desarrollan comparaciones con resultados experimentales obtenidos por los investigadores y prácticos observados por profesionales de experiencia, con el objetivo de evaluar la propuesta desarrollada.

1.4 Metodología

1. Recopilación de los antecedentes básicos, enfocados en técnicas de conservación de caminos de bajo tránsito. Esta información se encuentra en los programas de Caminos Básicos emitidos por la Dirección de Vialidad, Dirección de Presupuesto (DIPRES) y Ministerio de Desarrollo Social, tales como:
 - ✓ Informe Final Evaluación Programa Caminos Básicos (Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, 2009).
 - ✓ Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características (Dirección de Vialidad, 2010-2012)
2. Selección de rutas pertenecientes a programas de Capa de Protección (CAPROS), presentes en la Región de Valparaíso, definiendo la red vial destinada a análisis.
3. Recolección de antecedentes y parámetros de interés, para el desarrollo de análisis técnico de rutas (ubicación, longitud, tránsito medio diario anual (TMDA), CBR de subrasante, entre otros).
4. Evaluación técnica de modelos de deterioro, basado en datos obtenidos de inspecciones visuales desarrolladas a las rutas seleccionadas, definiendo periodos de mantención de red vial, enfocado en intervenciones sobre la carpeta de rodado ejecutadas en la Región de Valparaíso.
5. Diseño estructural de rutas, bajo parámetros y requisitos de caminos básicos por conservación (CBC) y los caminos básicos intermedios (CBI), presente en Programa de caminos básicos, Dirección de Vialidad, basado en diseño mediante metodología de W.J. Morin y Peter Todor, presente en Manual de Carreteras Vol.3 2013.
6. Análisis de parámetros de diseño estructural presentes en las rutas seleccionadas, que influyan en la vida útil de los caminos básicos, considerando metodología de diseño de CCBB, ejecutada en la actualidad en la Región de Valparaíso.
7. Procedimiento metodológico de estimación de vida útil de caminos de bajo volumen de tránsito, que ayuden a definir ciclos de mantención oportunos para futuros diseños de caminos de esta categoría.

Capítulo 2

2. Marco Teórico.

2.1 Antecedentes Programa Caminos Básicos

El Origen del Programa data del año 2003 [1], y tiene relación con la iniciativa de la Dirección de Vialidad de implementar varios tipos de soluciones aplicables en distintas regiones del país, denominada “Caminos Básicos 5000”, la cual tuvo como primera meta para el año 2006 la intervención de 5000 [km]. de caminos de bajo tránsito con soluciones básicas.

El programa caminos básicos¹ comprendió la ejecución de intervenciones sobre caminos no pavimentados de bajo tránsito, cuyo mejoramiento y pavimentación convencionales no eran posibles por su baja rentabilidad ante el Sistema Nacional de Inversiones, definiendo así los caminos básicos por conservación (CBC) y los caminos básicos intermedios (CBI), los cuales tenían como objeto solucionar problemáticas tales como:

- ✓ la calidad de vida de los habitantes del entorno del camino, disminuyendo o eliminando el polvo generado por el tránsito;
- ✓ los elevados costos de conservación originados por los frecuentes reperfilados de caminos de ripio o tierra;
- ✓ las bajas o nulas condiciones de seguridad vial generadas por el ripio suelto y el polvo emitido por la circulación de vehículos;
- ✓ y el impacto ambiental en actividades productivas como la fruticultura y otros cultivos ubicados en sectores circundantes a las rutas.

Debido a la baja rentabilidad social de estos proyectos por el bajo tránsito, en base a lo descrito en el documento “Políticas de Conservación Vial de la Dirección de Vialidad del Ministerio de obras Públicas, 2011”, se comenzó a aplicar soluciones de bajo costo sobre la carpeta de rodadura existente, con el objeto de disminuir los efectos o problemas descritos anteriormente, además de proteger y mantener por mayor tiempo la inversión realizada, describiendo para estos efectos, dos tipos de soluciones básicas:

- ✓ solución básica con estabilización de carpeta granular: la adición de algún producto estabilizador o supresor de polvo al material granular, y
- ✓ solución básica con capa de protección (CAPRO): la aplicación de una capa de protección asfáltica al material granular, el cual actúa como base.

De ambos casos existen registros de unos 2400 proyectos ejecutados desde el año 2003 en todo el país y que a diciembre del año 2012 alcanza aproximadamente a un 13 % de la red vial nacional [Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características, 2012].

¹ RES DV N° 1076 de 04.03.11

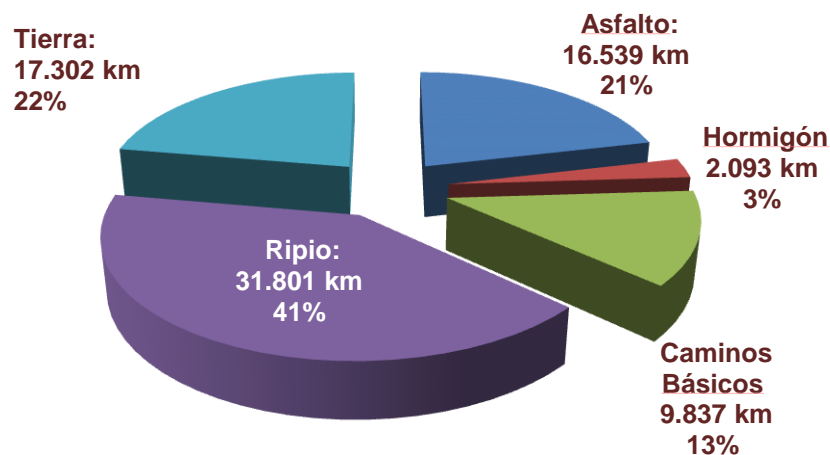


Figura 2.1: Distribución de la red nacional, según carpeta de rodadura. Fuente: Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características, 2012.

2.2 Descripción de Caminos Básicos

2.2.1 Caminos Básicos por Conservación (CBC)

Consiste en aplicar, sobre la carpeta de rodadura granular de un camino sin mejoramientos geométricos, algún estabilizador y/o un sello asfáltico que permita extender considerablemente el tiempo necesario para la primera conservación rutinaria, al igual que disminuye la frecuencia posterior de ellas. Del mismo modo, no se hace necesaria la reposición periódica del material de la carpeta ya que se mantiene estable por más tiempo.

Uno de los principales beneficios de los caminos básicos es brindar una mejor calidad de vida a los sectores rurales de nuestro país, a través de:

- ✓ Proporcionar superficies de rodadura más confortables y de mayor durabilidad.
- ✓ Disminuir o eliminar el polvo en suspensión en verano y la formación de barro en invierno.
- ✓ Eliminar el efecto nocivo del polvo a los cultivos aledaños a la vía.
- ✓ Disminuir los costos de conservación y de transporte.

2.2.1.1 Requisitos Caminos Básicos por Conservación (CBC)

Los requisitos establecidos en “Programa de Caminos Básicos, del Ministerio de Obras Públicas de la Dirección de Vialidad, 2009” se pueden definir como:

- TMDA (Tránsito Medio Diario Anual) máximo: 400 vpd (Vehículos por día).
- Capa de rodadura estabilizada con aditivo (ej. sales), o del tipo capa de protección: Tratamiento Superficial Simple o Doble, Cape Seal, Otta Seal, Lechada Asfáltica o Imprimación Reforzada, o alguna otra capa de protección que surja de alguna futura innovación.
- Se mantiene el ancho de la calzada anterior a la intervención, salvo excepciones donde puede aumentarse hasta en un 5 % de la longitud de la obra (por razones de seguridad vial).
- La proporción entre el volumen de movimiento de tierras (suma de metros cúbicos de terraplenes y excavación de cortes) y la superficie de la carpeta de rodadura a intervenir (metros cuadrados de carpeta) no supera el valor 0,2, salvo si se requiere para reponer eventuales erosiones o derrumbes.
- Espesor de la base granular: máximo 0,20 m.

Los montos máximos según zona, establecidos en acuerdo entre MOP-DIPRES-MDS, 2013, se describen en tabla 2.1.

Tabla 2.1: Inversión por kilómetro surgen de los acuerdos MOP-DIPRES-MDS, actualizados²

| REGIÓN | MONTO MÁXIMO (MM\$/KM) | |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| | REGIÓN | ZONA |
| Arica y Parinacota | 75 | 105 (oriente Ruta 5) |
| Tarapacá | | 105 (Prov. del Tamarugal) |
| Antofagasta | 75 | |
| Atacama | | |
| Coquimbo | | |
| Valparaíso | 85 | |
| Metropolitana | | |
| O'Higgins | 80 | 100 (Prov. Cardenal Caro) |
| Maule | 90 | 100 (Prov. de Cauquenes) |
| Biobío | 105 | 120 (Prov. de Arauco) |
| Araucanía | 95 | 120 (Prov. Malleco) |
| Los Ríos | 95 | |
| Los Lagos | 95 (Prov. Osorno y Llanquihue) | 120 (Prov. Chiloé y Palena) |
| Aysén | 125 | |
| Magallanes | | |

² Ord. D.V. N°11583 de 11.10.2013

2.2.2 Caminos Básicos Intermedios (CBI)

El concepto de Camino Básico Intermedio (CBI) surge cuando, previo a la confección de la CAPRO (capas de protección), se requiere algún mayor movimiento de tierras, mejoramientos de la estructura y/o del saneamiento y mejoras geométricas, con una consecuente mayor inversión que los CBC (CAMINOS BÁSICOS POR CONSERVACIÓN).

Los mejoramientos geométricos y de estructura son inferiores a los que se consideran en las pavimentaciones tradicionales de Vialidad, cuyos montos de inversión superan los MM\$400 por km.

Tratándose de un mejoramiento, se cuenta con una metodología simplificada para evaluar la factibilidad económica, en base a curvas que relacionan la inversión con el Tránsito medio diario Anual (TMDA), basada en iteraciones de HDM-4.

Estas curvas permiten conocer si un proyecto tiene una tasa interna de retorno superior a 6% (tasa de retorno social), a partir de la inversión (MM\$ /km) y tránsito (TMDA). En forma adicional se acota superiormente esta modalidad estableciendo un monto máximo de inversión por km por zonas.

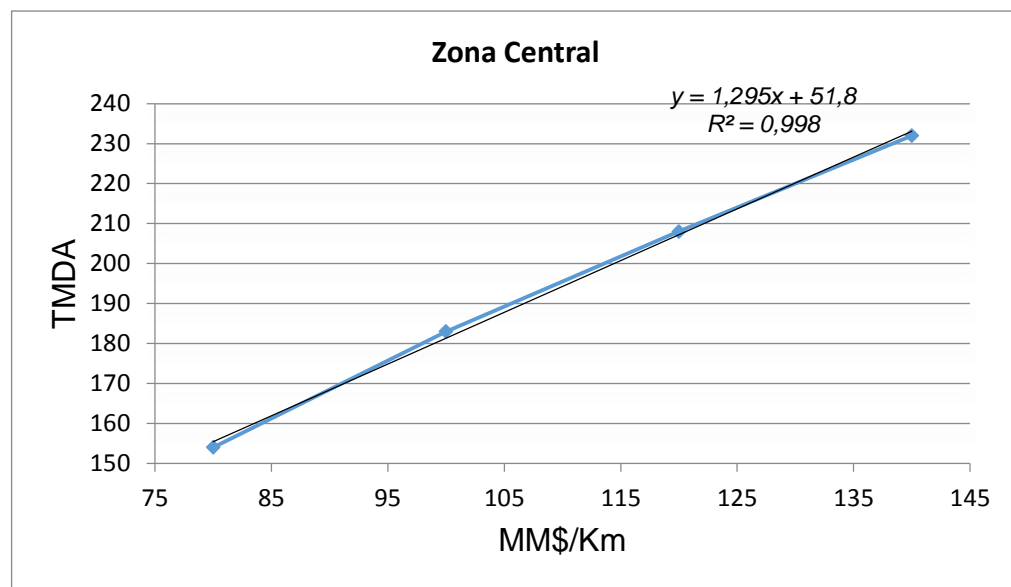


Figura 2.2: Curvas montos máximos de inversión por kilómetro zona central. Fuente: Caminos Básicos CBC y CBI, Dirección de Vialidad 2014.

2.2.2.1 Requisitos Caminos Básicos Intermedios (CBI)

- ✓ El alcance de los Caminos Básicos Intermedios no considera la inclusión de puentes, pasarelas, desniveles, estructuras mayores, etc.
- ✓ Las expropiaciones necesarias para lograr el ancho de calzada mínimo de 7 m con bermas de 1 m están permitidas y no son objetables. Las expropiaciones requeridas más allá de este criterio deberán justificarse técnicamente.
- ✓ Se encuentran restringidos a un mínimo y a un máximo de inversión por Km., según la zona donde se ejecutará el proyecto. De esta forma aunque los indicadores de Monto/Km v/s TMDA de un proyecto pudieran arrojar resultados de rentabilidad que superen lo exigido, si la inversión por Km. es mayor a los rangos establecidos, la ruta o proyecto no podrá ejecutarse bajo criterios de conservación.
- ✓ Montos máximos por kilómetro, según zona según acuerdo MOP-DIPRES-MDS.

Tabla 2.2: Monto máximos por kilómetro vigente, 2011

| Zonas | Costo Máximo / Km (MM\$ / Km) |
|--------------------------|--------------------------------|
| Norte y Centro | 140 |
| Sur | 180 |
| Chiloé, Arauco y Austral | 210 |

2.3 Situación actual de intervención Nacional de Caminos Básicos por Conservación (CBC) y Caminos Básicos Intermedios (CBI).

Durante un periodo prolongado hasta la fecha la Dirección de Vialidad de cada Región ha ejecutado proyectos con el fin de cumplir los objetivos establecidos por el Ministerio de Obras Públicas, los que establecen como base la intervención de rutas de bajo tránsito en toda la red vial nacional.

A continuación se tabulan las longitudes e inversiones ejecutadas tanto para CBC y CBI hasta el año 2013 en el país, destacando los kilómetros ejecutados en la V Región, las cuales se encuentran dentro de los alcances descritos en este documento.

Tabla 2.3: Longitud de Caminos Básicos por Conservación (km) Ejecutados en el Período 2003 – 2013

| Región | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 8 | 106 | 118 | 93 | 89 | 81 | 40 | | 62 | 93 | 193 |
| 2 | 91 | 290 | 151 | 114 | 114 | 88 | 73 | 178 | 123 | 112 | 152 |
| 3 | 191 | 507 | 308 | 460 | 562 | 127 | 110 | 105 | 180 | 167 | 489 |
| 4 | 136 | 157 | 159 | 193 | 126 | 117 | 107 | 70 | 62 | 116 | 115 |
| 5 | 162 | 287 | 118 | 146 | 65 | 92 | 45 | 72 | 105 | 69 | 70 |
| 6 | 52 | 219 | 170 | 119 | 155 | 77 | 117 | 129 | 34 | 59 | 9 |
| 7 | 18 | 199 | 178 | 150 | 91 | 46 | 63 | 8 | 6 | 46 | 142 |
| 8 | 114 | 140 | 219 | 91 | 16 | 2 | 22 | 6 | 29 | 62 | 119 |
| 9 | 92 | 254 | 210 | 25 | 14 | 59 | 30 | 12 | 3 | 56 | 73 |
| 10 | | 32 | 55 | 38 | 28 | 49 | 15 | 57 | 16 | 55 | 43 |
| 11 | | 23 | 26 | 37 | 29 | 14 | 13 | | 6 | 17 | 56 |
| 12 | 13 | 130 | 101 | 43 | 23 | 9 | 20 | 22 | 16 | 12 | 4 |
| RM | 39 | 128 | 187 | 114 | 96 | 106 | 65 | 45 | 47 | 39 | 99 |
| 14 | | 29 | 15 | 11 | 13 | | 22 | 49 | 36 | 25 | 46 |
| 15 | | 164 | 117 | 30 | 10 | 21 | | 18 | 42 | 50 | 37 |
| Total General Nacional | 916 | 2.664 | 2.130 | 1.665 | 1.432 | 888 | 743 | 771 | 766 | 976 | 1.647 |

Nota 1: Corresponde a km. ejecutados con una frecuencia que puede ser mayor a uno, dentro del periodo.

Nota 2: Corresponde a obras ejecutadas en una red de mayor dimensión a la red homologada.

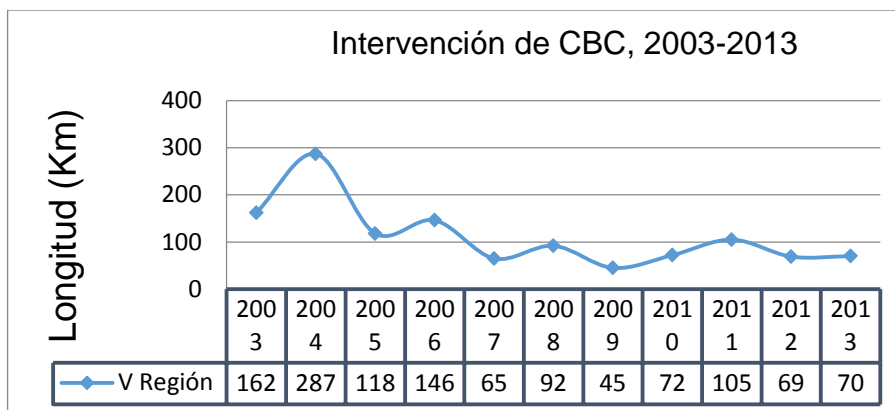


Figura 2.3: Curva de intervención de Caminos Básicos por Conservación 2003-2013. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2.4: Inversión en Caminos Básicos por Conservación Período 2003 – 2013 (en MM\$ al año)

| Reg | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 80 | 1.116 | 610 | 569 | 1.064 | 991 | 135 | | 3.741 | 4.695 | 10.371 |
| 2 | 1.110 | 4.969 | 3.133 | 1.677 | 2.451 | 1.232 | 1.025 | 2.049 | 2.313 | 3.292 | 3.558 |
| 3 | 2.162 | 4.642 | 2.149 | 3.349 | 2.161 | 1.698 | 1.324 | 1.455 | 3.512 | 4.116 | 12.716 |
| 4 | 1.555 | 1.283 | 1.639 | 1.833 | 1.918 | 905 | 2.011 | 951 | 778 | 793 | 4.037 |
| 5 | 1.852 | 3.657 | 1.900 | 2.632 | 1.845 | 2.039 | 1.420 | 2.526 | 3.403 | 2.638 | 3.822 |
| 6 | 1.236 | 4.969 | 4.562 | 3.864 | 4.929 | 4.287 | 5.518 | 5.724 | 2.025 | 4.874 | 926 |
| 7 | 288 | 2.478 | 2.475 | 1.524 | 1.866 | 2.104 | 1.363 | 401 | 383 | 4.019 | 7.870 |
| 8 | 3.356 | 1.076 | 3.248 | 3.862 | 743 | 90 | 1.363 | 459 | 2.161 | 4.207 | 7.826 |
| 9 | 1.940 | 2.659 | 2.244 | 1.671 | 1.802 | 3.672 | 3.007 | 1.199 | 154 | 1.398 | 8.915 |
| 10 | | 993 | 3.084 | 2.096 | 4.172 | 3.881 | 841 | 4.324 | 1.093 | 5.274 | 3.982 |
| 11 | | 798 | 275 | 910 | 865 | 498 | 391 | | 48 | 163 | 813 |
| 12 | 31 | 1.825 | 2.119 | 1.123 | 1.336 | 473 | 1.918 | 1.226 | 1.549 | 1.095 | 234 |
| RM | 2.118 | 3.741 | 5.967 | 4.198 | 2.782 | 5.569 | 2.857 | 2.202 | 2.318 | 1.960 | 5.709 |
| 14 | | 971 | 759 | 226 | 569 | | 420 | 2.150 | 470 | 1.994 | 3.331 |
| 15 | | 1.730 | 937 | 95 | 55 | 72 | | 328 | 2.601 | 4.114 | 1.584 |
| Total General Nacional | 15.729 | 36.906 | 35.104 | 29.630 | 28.558 | 27.510 | 23.594 | 24.995 | 26.549 | 44.630 | 75.694 |

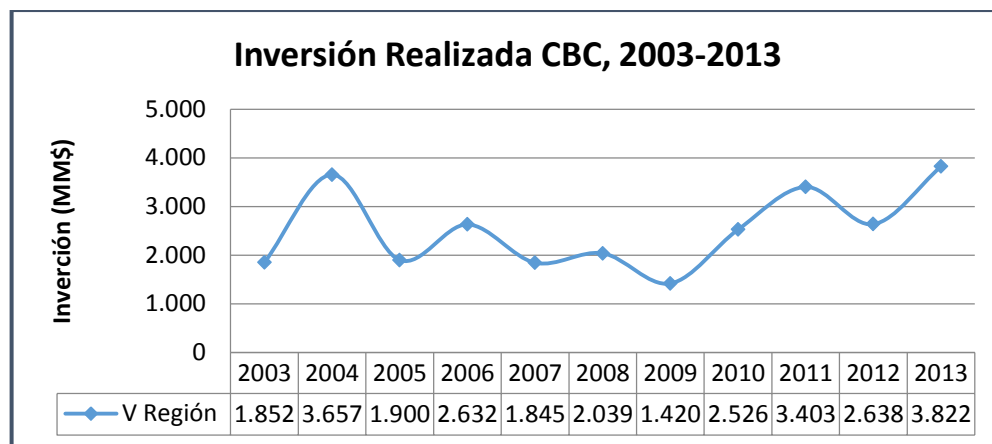


Figura 2.4: Curva inversión realizada de Caminos Básicos por Conservación, 2003 -2013, Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.5: Longitud (km) de CCBB Intermedios Ejecutados entre 2012 y 2013, y Programado Ejecutar año 2014

| Región | Longitud 2011 | Longitud 2012 | Longitud 2013 | Longitud 2014 (Arrastre) | Longitud 2014 (Nuevos) | Total |
|--------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|------------------------|-------|
| 1 | - | - | - | - | - | - |
| 2 | - | - | - | - | - | - |
| 3 | - | - | - | - | - | - |
| 4 | - | - | 31,7 | 24,9 | - | 56,6 |
| 5 | - | 2,4 | 3,1 | 1,8 | - | 7,3 |
| 6 | - | - | 12,3 | 7,2 | - | 19,5 |
| 7 | - | - | 87,4 | 11,7 | - | 99,1 |
| 8 | - | - | - | - | 8,0 | 8,0 |
| 9 | - | - | - | - | 7,9 | 7,9 |
| 10 | - | - | - | - | 6,6 | 6,6 |
| 11 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | - | - | - | - | - | - |
| RM | - | 15,3 | 34,9 | 0,1 | - | 50,3 |
| 14 | - | - | 8,8 | 8,2 | - | 17,0 |
| 15 | - | - | - | - | - | - |
| Total | 0,0 | 17,7 | 178,2 | 53,9 | 22,5 | 272,3 |

Tabla 2.6: Inversión Realizada en CCBB Intermedios entre 2012 y 2013, e Inversión Programada año 2014 (MM\$ de cada año)

| Región | Inversión 2011 | Inversión 2012 | Inversión 2013 | Inversión 2014 (Arrastre) | Inversión 2014 (Nuevos) | Total |
|--------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|-------------------------|--------|
| 1 | - | - | - | - | - | - |
| 2 | - | - | - | - | - | - |
| 3 | - | - | - | - | - | - |
| 4 | - | - | 4.146 | 3.227 | - | 7.373 |
| 5 | - | 312 | 449 | 264 | - | 1.025 |
| 6 | - | - | 1.363 | 903 | - | 2.266 |
| 7 | - | - | 8.595 | 1.019 | - | 9.614 |
| 8 | - | - | - | - | 1.486 | 1.486 |
| 9 | - | - | - | - | 498 | 498 |
| 10 | - | - | - | - | 1.526 | 1.526 |
| 11 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | - | - | - | - | - | - |
| RM | - | 2.066 | 5.477 | 9 | - | 7.552 |
| 14 | - | - | 1.077 | 1.017 | - | 2.094 |
| 15 | - | - | - | - | - | - |
| Total | 0 | 2.378 | 21.107 | 6.440 | 3.510 | 33.434 |

2.4 Aspectos Generales Sobre la Conservación de Caminos

2.4.1 Componentes de la Conservación

La conservación es un conjunto de actividades destinadas a preservar la condición de un camino y de sus componentes, tales como capa de rodadura, bermas, estructuras, drenaje, obras básicas, dispositivos de control de tránsito, etc., a fin de que sigan prestando en forma efectiva el servicio para el que fueron dispuestos [Manual de Carreteras Vol. 7, 2014].

Por esta razón la conservación de la red vial nacional consta de tres componentes básicos para la ejecución de este procedimiento (Conservación), las cuales se resumen en: saneamiento, señalización y conservación de la carpeta de rodadura.

2.4.1.1 Saneamiento

Permite que las aguas que caen sobre y en las inmediaciones de un camino escurran y se alejen de él por conductos y cauces apropiados; de no ser así, se producirían erosiones o infiltraciones de agua que dañarían la capacidad estructural de la superficie de rodadura.

El drenaje es un factor que tiene gran importancia en el comportamiento de la mayoría de los elementos que componen un camino. Un sistema de drenaje ineficiente lleva, a lo menos, a acelerar significativamente el deterioro de las obras, debido a que un camino emplazado en un sector afecto a precipitaciones o en sectores bajos expuestos a inundaciones y o malos sistemas de drenaje, deriva en una falla prematura de la estructura del pavimento debido a la disminución de la resistencia mecánica de las capas granulares y eventualmente de la subrasante, por efecto de la saturación [Guillermo Thenoux Z. *et al*, 2002] [2] en especial en los caminos no pavimentados donde las fallas de drenaje se traducen, normalmente, en una inmediata intransitabilidad de la ruta. Consecuentemente, mantener y, muchas veces, complementar el drenaje de un camino sea, quizás, la inversión más rentable que se puede realizar dentro de la gestión de mantenimiento.

2.4.1.2 Señalización

La señalización vertical y la demarcación juegan un rol esencial en la seguridad vial, por la estrecha relación que tienen con la prevención de accidentes de tránsito, debido a que en rutas con características geométricas particulares (pendientes fuertes, presencia de curvas, terraplenes u otras), ayudan a generar una actitud preventiva al conductor cuando circula por el camino. Por este motivo, es fundamental su preservación e implementación en el diseño de cualquier ruta, bajo cualquier tipo de intervención (intervención tradicional o solución básica).

2.4.1.3 Conservación de la Carpeta de Rodadura

La carpeta de rodadura o el paquete estructural que compone la estructura de un camino sin duda está relacionado con la vida de servicio del pavimento, por lo cual una oportuna y apropiada conservación de estas carpetas evidentemente son un aporte considerable en la vida útil de un camino, por lo cual es de gran importancia establecer o determinar los periodos de duración de dichas carpetas, asegurando de este modo la serviciabilidad apropiada de las rutas para las que fueron dispuestas.

2.4.2 Operaciones de Conservación

De acuerdo al Manual de Carreteras Volumen 7, 2013, las operaciones de conservación pueden agruparse con diferentes criterios en función del objetivo que se persiga. Así, desde el punto de vista administrativo, la agrupación más habitual es en función de la periodicidad o frecuencia con que se realizan y/o del sistema de ejecución que habitualmente se emplea, para lo cual suelen dividirse en operaciones rutinarias y periódicas.

2.4.2.1 Operaciones de Conservación Rutinaria

Este tipo de intervenciones tienen como objetivo la conservación, limpieza y buen funcionamiento de las obras físicas, y se llevan a cabo normalmente en intervalos predeterminados en el diseño original de cada obra o proyecto.

En esta categoría se incluyen procedimientos tales como: limpieza de faja, perfilados de capas de rodaduras granulares, reperfilado de caminos de tierra, bacheos, limpiezas de obras de drenaje, reparación y reemplazo de señales camineras, reemplazo de barreras de contención, demarcación de pavimento, remoción de derrumbes, etc.

2.4.2.2 Operación de Conservación Periódica

Corresponden a intervenciones donde se ejecutan cambios parciales o ajustes que generalmente son necesarios realizar en forma cíclica, a distintos intervalos, para corregir posibles fallas o prevenir daños mayores derivados del desgaste por efectos climáticos, nivel y composición del tránsito, y tiempo de servicio. Estas operaciones se llevan a cabo antes de que una ruta deje de desarrollar eficientemente las funciones para las cuales fue diseñada.

En esta categoría se incluyen procedimientos tales como: el recebo de capas de rodadura granulares, los sellos asfálticos, reparación de defensas fluviales, reposición de losas de pavimentos de hormigón, colocación de obras de arte, etc.

2.4.3 Modalidades de Ejecución de Obras de Conservación.

Las modalidades de conservación corresponden a la manera con que la Dirección de Vialidad aborda el mantenimiento de las rutas bajo su tuición, donde las operaciones de mantenimiento pueden ser ejecutadas directamente por la Dirección de Vialidad, mediante la modalidad de administración directa o por la acción de empresas externas por medio de contratos tradicionales de conservación, contratos de conservación de redes (Globales o globales mixtos) y concesión de mantenimiento [Manual de Carreteras, Vol.7, 2014].

2.4.3.1 Administración directa.

En esta modalidad estratégica se utiliza personal, equipos y maquinarias de la Dirección de Vialidad, dispuestos en las regiones y provincias para las tareas de mantenimiento de la red vial bajo su tuición. Las operaciones de conservación rutinarias y periódicas necesarias de ejecutar en estos caminos se traducen en metas específicas que programan y ejecutan anualmente las Direcciones Regionales. Esta modalidad opera predominantemente sobre caminos de la red comunal y, por lo tanto, en caminos con capas de rodadura mayoritariamente de ripio o tierra.

Estratégicas y relevantes son las actividades relacionadas con la atención de emergencias y pasos fronterizos (principalmente en invierno), donde se tienen disponibles equipos especializados como barre nieves, cargadores frontales, camiones saleros o esparcidores de sal y otros.

2.4.3.2 Contratos tradicionales de conservación.

En esta modalidad las Direcciones Regionales de Vialidad, mediante contratos de ejecución de obras, contratan obras de mantenimiento de caminos o tramos de caminos de la red vial bajo su jurisdicción a empresas contratistas. Estos contratos especifican las operaciones a realizar y las cantidades asociadas a cada una de ellas. Normalmente en este tipo de contrato se incluyen, de manera importante, operaciones de conservación periódica, las que fueron descritas anteriormente. En general el plazo de ejecución de los contratos bajo esta modalidad es menor a un año, habitualmente tienen una duración entre 4 y 12 meses, y se rigen administrativamente por el Reglamento para Contratos de Obras Públicas.

2.4.3.3 Contratos Globales.

En cada contrato de este tipo se incluye una red de caminos, cuya longitud total alcanza, en general, entre 400 y 500 km. Las operaciones, previamente definidas en cuanto a tipo y cantidades de obra por ejecutar, se contratan a serie de precios unitarios. El procedimiento se utiliza para que se realicen operaciones prioritariamente rutinarias y periódicas. Su plazo de ejecución es de 1 ó 2 años.

2.4.3.4 Contratos Globales Mixtos.

Corresponden a una modalidad adicional de contratos de conservación de redes que contemplan la conservación de una parte de los elementos de la infraestructura vial, bajo la modalidad de Conservación Global a Precios Unitarios, y otra parte de los elementos, por estándares o niveles de servicio, a Suma Alzada. Estos contratos, en general, tienen un plazo de 4 años y están orientados a la conservación de redes en que una parte de ella es pavimentada. Es sobre elementos de esta parte de la red, sobre la cual se especifica un nivel de servicio. La conservación por nivel de servicio, se realiza sólo en los caminos pavimentados de la red contratada, lo que significa que es el contratista quien decide las operaciones y frecuencia a realizar.

2.4.3.5 Concesión de Mantenimiento.

Esta modalidad de conservación por concesión, considera contratos de largo plazo (10 años o más). Durante el período estipulado, el concesionario se obliga a ejecutar todas las operaciones de mantenimiento que requieran la o las rutas incluidas en el contrato, para mantenerlas dentro de ciertos niveles o estándares prefijados y que son periódicamente verificados por la Dirección de Vialidad. También puede incluirse, en algún momento dentro del plazo de vigencia del contrato, alguna construcción de vía(s) y/o ampliación y mejoramiento de las existentes. Se establecen planes anuales de mantenimiento, que deben ser presentados por el Concesionario a la Dirección de Vialidad para su aprobación en forma previa al año de ejecución.

La forma en que se financian estos contratos es a través de cobros que hace el Concesionario directamente a los usuarios de la ruta, a través de pagos realizados por el Fisco (Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas) o mediante un sistema mixto.

2.5 Caracterización de Soluciones Básicas y Caminos de bajo volumen de tránsito.

2.5.1 Solución Básica.

Comprende diversas técnicas de bajo costo relativo, tales como estabilizadores naturales y químicos, capa de protección asfáltica, entre otros, aplicadas a la carpeta de rodadura de un camino no pavimentado. Su objetivo es brindar una durabilidad mayor que la obtenida con una conservación tradicional, reduciendo la frecuencia de las intervenciones de conservación periódica y rutinaria, y de paso, mejorar el IRI y disminuir o eliminar la emisión de polvo y generación de lodo. Se excluyen de las soluciones básicas los cambios de trazado que impliquen expropiaciones, debido a modificaciones de ejes de calzadas de ruta existente [Informe final Programas Caminos Básicos, Ministerio de Obras Públicas DV, 2009]

2.5.2 Caminos de bajo volumen de tránsito

Los caminos de bajo volumen de tránsito constituyen una parte importante de la red vial nacional (Interurbana) presentando variabilidad en estándares tanto geométricos como en la calidad de su superficie de rodado. Los estándares que presentan los caminos de bajo volumen de tránsito en Chile, van desde caminos de tierra a caminos ripiados y caminos con estructuras de pavimentos con diferentes tipos de carpeta de rodado [2].

Una problemática importante de un gran número de caminos de bajo volumen de tránsito se relaciona con la relativa baja calidad funcional y estructural de sus pavimentos o superficies de rodado, otorgando bajo niveles de serviciabilidad y baja durabilidad., relacionado en gran medida con la limitación de recursos de inversión para mejorar los estándares de este tipo de caminos así como la restricción de recursos para la conservación de estos mismos, traduciéndose en caminos de bajo volumen de tránsito con importantes limitaciones funcionales (movilidad, accesibilidad y seguridad) y altos costos operacionales [Guillermo Thenoux Z. et al, 2002].

Otro problema asociado a este tipo de rutas tiene relación con el nivel de ingeniería básica que se realiza para el diseño de este tipo de caminos ya que en general no se realiza a un estándar similar al de un proyecto de ingeniería de caminos principales, sin embargo, dada la limitación de recursos que está presente en este tipo de inversiones, se considera importante contar con soluciones de ingeniería que otorguen una confiabilidad mínima a los proyectos.

Por otra parte, el diseño geométrico de estos caminos en general tiende a ajustarse a las condiciones geográficas del terreno, limitando el diseño de anchos de calzada, trazado en planta, trazado en elevación y la sección transversal.

2.6 Soluciones Básicas aplicadas a las carpetas de rodadura de caminos de bajo tránsito.

Los tipos de Soluciones Básicas aplicados en Chile han tenido como objetivos mejorar la calidad de vida de los habitantes colindantes a los caminos tratados, disminuyendo el levantamiento de polvo producido por el flujo vehicular y el exceso de barro en invierno, condiciones que existen en los caminos no pavimentados, disminuir los costos de conservaciones, mejorar las condiciones de la carpeta de rodadura, disminuir los costos de transporte y mejorar la seguridad vial.

Las Soluciones Básicas aplicadas se pueden dividir en dos grupos:

- ✓ Soluciones Básicas con estabilizaciones de capas granulares
- ✓ Soluciones Básicas con capas de protección (CAPRO)

2.6.1 Soluciones Básicas con estabilizaciones de capas granulares:

Un suelo que presenta una baja resistencia, sufre deformaciones a causa de sollicitaciones de tránsito o exposición al medio ambiente (llamado también suelo inestable). Éste no puede ser utilizado como un material estructural en un camino, por lo que es necesario estabilizarlo, aumentando sus propiedades mecánicas mediante la utilización de sales o productos químicos, que actúan como agentes aglomerantes entre las partículas de suelo.

Dentro de los tipos de estabilizadores de suelo utilizados en el país se pueden mencionar, entre otros:

- ✓ Cloruro de Magnesio (Bichofita)
- ✓ Cloruro de Sodio
- ✓ Cloruro de Calcio.
- ✓ Proes y Fito Soil (FS).

2.6.1.1 Cloruro De Magnesio (Bischofita).

La bischofita es una sal constituida básicamente por cristales de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, y se produce a través de la evaporación solar de salmueras extraídas de depósitos del subsuelo del Salar de Atacama. La bischofita es una sal altamente higroscópica. Tiene la propiedad de retener o exhalar la humedad según las condiciones medioambientales y es del tipo deliquescente, es decir, cuenta con la propiedad de atraer la humedad del ambiente y licuarse lentamente [3].

- **Fórmula** : $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.
- **Clasificación** : Salmuera con alto contenido de Cloruro de Magnesio Hexahidratado (*).
- **Aspecto** : Sal a granel que deja una película aceitosa al tacto.
- **Color** : Blanco transparente.
- **Olor** : Inodoro.
- **Densidad** : 1gr. / cc.
- **Ph** : 8.6.
- **Comercialización**: a granel.

(*) La salmuera altamente concentrada en Cloruro de Magnesio se presenta habitualmente de acuerdo a la siguiente composición:

Tabla 2.7: Composición Cloruro de Magnesio (Bischofita)

| Compuesto Químico | Porcentaje en peso |
|-------------------|--------------------|
| Mg | 10,5 |
| Cl | 33,5 |
| H ₂ O | 52 |
| Otros | 4 |

Dosificación:

La dosis recomendada según el documento “Evaluación de la Efectividad del Cloruro de Magnesio Hexahidratado (Bischofita) como Estabilizador Químico de Capas de Rodadura Granulares” [Guillermo Thenoux Z., Sergio Vera A, 2002], oscila entre un 3% y 5% de Bischofita referida al peso seco del agregado. Lo anterior asumiendo un peso seco del agregado del orden de 2.200 kilogramos por metro cúbico, debiera corresponderse con 66 a 154 kilogramos por metro cúbico de material compacto, asumiendo una densidad igual a 1 kilogramo por litro para la bischofita.

De acuerdo a la literatura consultada, existe una relación directa entre la cantidad a aplicar de bischofita y el Índice de Plasticidad del suelo. Lo anterior debe entenderse como una primera aproximación al problema de la dosificación con dicho aditivo.

Tabla 2.8: Dosis de Bischofita

| IP | Dosis de Bischofita (%) |
|------|-------------------------|
| NP-3 | 4-5 |
| 4-8 | 3-5 |
| 9-15 | 3-4 |

Fuente: Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio hexahidratado (Bischofita) como estabilizadores químicos de capas de rodaduras granulares.

Tabla 2.9: Granulometría recomendada para superficies granulares de rodado.

| Tamiz (mm) | Porcentaje que pasa |
|------------|---------------------|
| 50,00 | 100 |
| 25,00 | 80-100 |
| 10,00 | 50-100 |
| 4,75 | 35-85 |
| 2,00 | 25-70 |
| 0,43 | 15-45 |
| 0,08 | 8-25 |

Fuente: Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio hexahidratado (Bischofita) como estabilizador químico de capas de rodadura granulares

2.6.1.2 Cloruro de Sodio.

El cloruro de sodio es una sal que se presenta en forma de cristales y en gran abundancia sobre la corteza terrestre, fácilmente soluble en agua, con un alto poder higroscópico (Capacidad de absorción de humedad del medio circundante). En el mercado se presenta constituyendo grandes cristales o polvo fino de diferente grado de pureza.

Este material permite la estabilización de suelos de manera natural, mediante un proceso en el cual se adiciona controladamente sal y agua a la base de suelo.

El cloruro de sodio mezclado con materiales limo-arcillosos produce una acción cementante, lo que hace aumentar la capacidad de soporte, cohesión e impermeabilización del suelo, evitando la formación de ahuellamientos, calaminas, polvo en suspensión y desprendimiento de material granular.

La utilización de este producto como estabilizante de caminos es de bajo costo, no necesita equipo especial. Además se puede utilizar los materiales de la zona, de manera de mejorar las propiedades físicas, evitando el transporte de materiales.

El cloruro de sodio actúa sobre las partículas finas de los suelos, cohesionándolos y cementándolos de tal forma que el material granular no se disgregue. Además reduce el punto de congelación y disminuye la deformación por heladas.

Su aplicación se recomienda en zonas de bajas precipitaciones (lluvias anuales inferiores a 300 milímetros) [4]

2.6.1.3 Cloruro de Calcio.

El cloruro de calcio se obtiene como un subproducto en forma de salmuera en algunos procesos industriales, aunque también se puede obtener de algunos arroyos y pozos naturales, siendo la fuente más común la obtención a través de la elaboración de Carbonato de Sodio mediante procedimientos químicos. En los casos de los proyectos realizados en la Región del Biobío, este producto que es utilizado como estabilizante, proviene de residuos industriales.

La solubilidad del Cloruro de Calcio es de 69 gramos aproximadamente por cada 100 cc. de agua destilada a 0°C o de 159 gramos aproximadamente, por cada 100 cc. de agua destilada a 100°C.

El Cloruro de Calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo, pero desafortunadamente esta sal es fácilmente lavable. Reduce la evaporación y es capaz de absorber hasta 10 veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, pudiéndose mantener dicha humedad en sus dos terceras partes durante un día de calor seco, lo que hace que esta sal sea un producto muy eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo.

- Fórmula: CaCl_2 .
- Clasificación: Cloruro de Calcio.
- Aspecto: Líquido.
- Color: café oscuro.
- Olor: característico.
- Densidad: 1,33 gr./cc.
- Comercialización: en kilogramo de producto.

Dosificación:

No existe mucha información en la literatura referida al aditivo Cloruro de Calcio. No obstante, se han encontrado valores de incorporación de aditivos que fluctúan entre 0,5% a 4% por peso seco de agregado.

Si se tiene en consideración que el Cloruro de Calcio debe ser diluido en agua en proporciones recomendadas de un 60% en peso, se puede llegar a establecer que bajo dicha dilución las dosis recomendadas debieran encontrarse aproximadamente entre 0,18 y 1,5 litros por metro cuadrado y centímetro de espesor de capa [4].

2.6.1.4 Proes.

Es un estabilizador de suelos que actúa por ionización, ordenación y aglomeración de sus partículas, lo que aumenta su impermeabilidad, aislando el suelo tratado, e incrementando la capacidad de soporte. Este producto está compuesto de derivados sulfonados de Hidrocarburos Bituminosos y Sulfatos.

La Tecnología Proes, más una cantidad mínima de aditivo sólido, ha permitido llevar el CBR de un suelo estructuralmente débil, desde valores menores a 10% a valores cercanos a 100%. En suelos granulares con elevado C.B.R., además de incrementar la capacidad de soporte, se obtiene una gran cohesión superficial que permite entregar una solución óptima de carpeta de rodado, en que se elimina la fuente de emisión de polvo fugitivo.

Su aplicación requiere una dosificación previa, para lo cual es necesario estudiar el suelo a tratar y determinar la dosis de Proes y de aditivo sólido; se realiza mediante dilución en el agua de amasado.

Dentro de la dosificación promedio se puede decir que para estabilizar un metro cúbico de suelo se necesita unos 200 cc. de proes, esto equivale a 6.667 metros cuadrados de superficie tratada con un espesor de 15 cm.

Según la bibliografía [ProesTech.com] consultada las dosificaciones del aditivo sólido varía entre 1,5% a 3,5% en peso del material a estabilizar.

La aplicación y método constructivo de la estabilización con este producto se resume en los siguientes puntos [5]:

- ✓ Soltar espesor de suelo a tratar (Motoniveladora), o suministrar el material de suelo a tratar.
- ✓ Pulverizar y homogeneizar el suelo (Motoniveladora o Disco de Rastra).
- ✓ Acordonar y dejar una sección uniforme del suelo a tratar.
- ✓ Agregar aditivo sólido en la proporción dosificada en el cordón de suelo.
- ✓ Revolver desarrollando premezclado entre el suelo (con humedad natural) y el aditivo sólido (Motoniveladora).
- ✓ Diluir la dosis de Proes en agua en un camión aljibe en un volumen máximo determinado por el diferencial entre la humedad óptima y la humedad natural del suelo.
- ✓ Aplicar el Proes diluido en agua al material a estabilizar, mediante riego con camión aljibe y al mismo tiempo desarrollar la revoltura con Motoniveladora del suelo y Proes

- ✓ Una vez revuelto homogéneamente el suelo con Proes, aditivo y agua, extender el material tratado en la plataforma de camino en construcción (Motoniveladora).
- ✓ Compactar con Rodillo Liso Vibratorio o "Pata de Cabra" (Suelos finos plásticos).
- ✓ Riego superficial de agua con compactación si se proyecta sellar la superficie para carpeta de rodado.

2.6.1.5 Fito Soil.

El producto Fito Soil es un aceite estabilizante formulado en base a macromoléculas de origen vegetal, que aplicado sobre terrenos naturales permite controlar la emisión de partículas de polvo y/o alcanzar una estabilización química, mejorando las características estructurales del terreno, además este producto ayuda a controlar el desgaste de la calzada y remoción de partículas por efecto de las lluvias, fenómeno comúnmente conocido como erosión.

La constitución química del producto es una mezcla activa de resinas vegetales, lo que no provoca impactos en el medio ambiente.

El producto es de color café oscuro, olor dulce, se aplica en frío y diluido en agua en dosis que se definen en conformidad a las características granulométricas y capacidad de soporte del suelo, solicitud de tránsito y vida útil que se desea dar al camino [6]

Metodología de Aplicación

- ✓ La superficie a estabilizar, deberá estar libre de escombros, basuras, raíces y agregado pétreo de tamaño superior a 2 pulgadas (2").
- ✓ De preferencia se realizará un perfilado con métodos mecánicos que permitan nivelar la superficie de rodadura y/o terreno.
- ✓ En la eventualidad de estar en presencia de baches se recomienda utilizar material de recebo y compactar mediante rodillo.
- ✓ Una vez compactada la carpeta de rodadura y previa humectación de ésta, se definirá las diluciones del producto para el tratamiento de control de polvo.
- ✓ La aplicación del producto, se realiza mediante riego por aspersion a presión, a una distancia del piso cercana a los 50 centímetros.
- ✓ El riego se realiza transitando un camión del tipo aljibe.
- ✓ En zonas de difícil acceso, como laderas, taludes, plataformas sin acceso a vehículos, se utilizarán aspersores manuales alimentados por sistemas a presión.
- ✓ La dilución y dosis a aplicar queda dada por las características granulométricas y nivel de compactación, solicitud mecánica y vida útil que se desea dar al tratamiento.
- ✓ Es importante hacer notar que riegos periódicos y sistemáticos de diluciones de baja concentración, con posterioridad a la aplicación base, mantendrá la eficiencia del producto por un largo período.
- ✓ En el caso de tratar un terreno suelto o con baja compactación, éste se compactará con rodillo de 10 toneladas mínimas de peso estático.
- ✓ Posteriormente a la compactación y previo a la aplicación del producto, se realizará un riego con agua pura a una tasa de 0,50 a 0,80 litros por metro cuadrado.

2.6.2 Soluciones Básicas con capas de protección (CAPRO)

Estos tipos de soluciones con capas de protección asfáltica delgada, también denominadas (CAPRO) consisten en la aplicación de una capa del tipo asfáltico sobre una base granular, donde principalmente cumple el objetivo de proteger y otorgar mayores condiciones de rodadura, disminuyendo la rugosidad y disgregación del material granular, principalmente en zonas destinadas como superficie de rodadura.

Dentro de este grupo de soluciones básicas aplicadas en el país, se encuentran diversos tipos, tales como:

- ✓ Tratamiento Superficial Simple (TSS), Doble Tratamiento Superficial (DTS)
- ✓ Carpeta Delgadas de Mezcla Asfáltica (CMA)
- ✓ Imprimación Reforzada (IR)
- ✓ Lechada Asfáltica (LA)
- ✓ Otta Seal (OS)
- ✓ Cape Seal (CS).

2.6.2.1 Tratamiento Superficial Simple (TSS) y Doble Tratamiento Superficial (DTS).

Los tratamientos superficiales consisten en aplicaciones de riego asfáltico alternado con agregados pétreos, colocadas sobre una capa granular imprimada. Según el número de aplicaciones adoptan el nombre de Tratamiento Superficial Simple (una aplicación) o Doble Tratamiento Superficial (dos aplicaciones). Este tipo de solución se destaca por su bajo costo con respecto a un pavimento tradicional, su fácil aplicación, buena impermeabilización de la base y buen desempeño frente a varias adversidades climáticas.

El asfalto utilizado en los tratamientos superficiales debe cumplir con lo indicado en el párrafo 5.405.201 del Manual de Carreteras (M.C), Vol. 5, de igual forma, los áridos deben estar sujetos a las exigencias señaladas en el párrafo 5.405.202 del Manual de Carreteras (M.C), Vol. 5, tanto en los requisitos de ensayos como en la uniformidad en su granulometría.

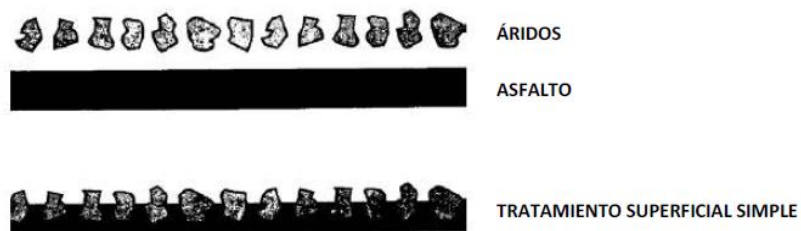


Figura 2.5: Tratamiento superficial simple (TSS)

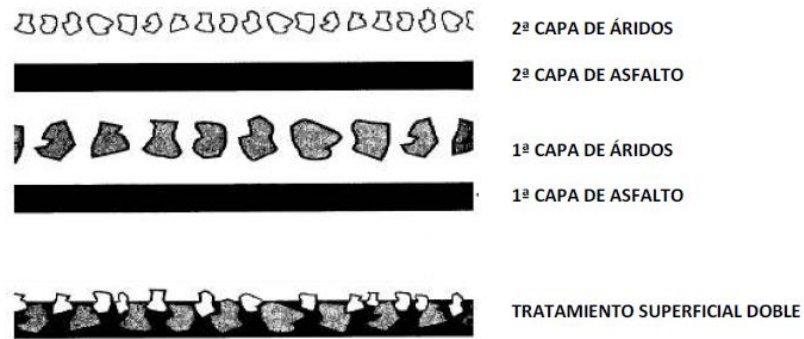


Figura 2.6: Tratamiento Superficial Doble (DTS)

Según lo descrito en el Manual de Carreteras, Vol.5, las cantidades de asfalto y agregados pétreos para los tratamientos superficiales son:

Tabla 2.10: Dosificación Típica de Cemento Asfáltico y Agregado Pétreo

| Tipo de Tratamiento | Asfalto [Kg/m ²] | Agregado Pétreo [Kg/m ²] |
|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| T.S.S | 0,9 - 1,6 | 8 – 15 |
| D.T.S | 2,6 – 3,2 | 25 – 35 |

2.6.2.2 Carpeta Mezcla Asfáltica.

En el programa de Soluciones Básicas de la Dirección de Vialidad se emplazaron carpetas de mezcla asfáltica en caliente de poco espesor, aunque esta solución no corresponde esencialmente a los criterios de bajo costo.

La carpeta asfáltica es la parte superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodado. Es elaborada con material pétreo seleccionado y un ligante asfáltico. Las principales características que debe cumplir el material pétreo, según lo especificado en Manual de Carreteras, Vol. 5 son las siguientes:

- ✓ Granulometría de tamaño máximo menor a una pulgada y bien graduada.
- ✓ Debe tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de *Desgaste Los Angeles*, *Densidad* y *Durabilidad*.
- ✓ La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta. Se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

- ✓ En mezclas asfálticas, es de gran importancia definir la cantidad de asfalto por emplearse, para obtener un contenido óptimo, ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos de tránsito y adversidades climáticas, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de estabilidad en la carpeta. Además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente.

2.6.2.3 Imprimación Reforzada.

La imprimación reforzada consiste en la aplicación de una imprimación asfáltica sobre una superficie de material granular, seguida de un riego de ligante que puede ser del tipo asfalto cortado de baja viscosidad o emulsión asfáltica (de quiebre rápido), para luego aplicar una capa de arena uniformemente distribuida. El proceso finaliza con una compactación con rodillo neumático.

Las imprimaciones reforzadas tienen vida de diseño de 2 a 3 años. Para asegurar la buena calidad de la imprimación y mantener bajos costos, es necesario contar con maquinaria mínima y permanentemente operativa, contar con personal capacitado y que la calidad de los materiales y los procesos constructivos sean los recomendados en el Manual de Carreteras, Vol.5.

Materiales:

- ✓ Asfalto: para imprimir, se utiliza asfaltos cortados de curado medio (medium curing) de distintos grados (MC-30 o MC-70), dependiendo de la textura y humedad de la superficie a tratar, y de la temperatura del medio ambiente. También existe la posibilidad de utilizar emulsiones imprimante, las que previo a su uso deben hacerse canchas de prueba para verificar su comportamiento, especialmente en lo que respecta a la dosis necesaria para obtener la penetración requerida, del ligante en el suelo basal.
- ✓ Los asfaltos no deben calentarse por encima de la temperatura de inflamación, siendo las temperaturas para las emulsiones asfálticas imprimantes entre 50 y 170 °C.
- ✓ Arena: las arenas utilizadas en una imprimación reforzada deben ser de buena calidad, y estar libres de impurezas y materias orgánicas. Estas deben cumplir con la granulometría indicada a continuación.

Tabla 2.11: Granulometría de Arenas.

| TAMICES | | PORCENTAJE EN PESO QUE PASA |
|---------|--------|-----------------------------|
| (mm) | (ASTM) | |
| 10 | (3/8") | 100 |
| 5 | N°4 | 85 -100 |
| 0,08 | N°200 | 0 - 5 |

Fuente: Manual de Carreteras Vol. 5

Los agregados deberán cumplir además con los requisitos señalados

Tabla 2.12: Requisitos de Agregados

| ENSAYE | REQUISITOS | MÉTODO |
|------------------------------------|------------|--------|
| Desintegración en Sulfato de Sodio | Máx. 12% | LNV 74 |
| Adherencia Método Estático | Min. 95 % | LNV 9 |

. Fuente: Manual de Carreteras Vol. 5

2.6.2.4 Lechada Asfáltica

Este tipo de tratamiento consiste en un recubrimiento asfáltico delgado de 3 a 10 milímetros de espesor mezclado con arena, relleno mineral (filler) si es necesario, agua y emulsión de quiebre lento.

La lechada asfáltica se caracteriza por tener una instalación económica y de alto rendimiento, rápida abertura al tránsito, superficie impermeabilizada, propiedades antideslizantes, color y textura uniforme.

La dosis de agua y emulsión deben ser tales que formen una lechada de consistencia cremosa y homogénea, la cual es aplicada sobre una capa granular imprimada.

También se usan para sellar pavimentos o tratamientos que presentan fisuras.

Materiales:

Emulsión: Ésta debe de ser de quiebre lento de los tipos CSS-1, CSS-1h o SS-1h, los cuales cumplen con lo descrito en sección 5.406.201 del [Manual de carreteras Vol. 5, 2013]

También puede utilizarse emulsiones elastoméricas.

Tabla 2.13: Requisitos para la emulsión de quiebre controlado modificadas con polímero.

| ENSAYE | EXIGENCIA | MÉTODO |
|--|-------------------|------------|
| Viscosidad Saybolt Furol (25°C) | 20 - 50 sSF | 8.302.12 |
| Sedimentación (7 días) | Máximo 5 % | 8.302.5 |
| Tamizado | Máximo 0.1 % | 8.302.5 |
| Carga de Partícula | Positiva/Negativa | 8.302.5 |
| Determinación de Residuo Asfáltico | Mínimo 62 % | (1) |
| RESIDUO ASFÁLTICO | | |
| Viscosidad Brookfiel (60°C) | Informar | 8.302.24 |
| Penetración, 25°C, 100g, 5 s, 0.1 mm | 40-90 | 8.302.3 |
| Punto de Ablandamiento | Informar | 8.302.16 |
| Ductilidad (25°C) | Mínimo 40 cm | 8.302.8 |
| Índice de Fraass | Máximo -17°C | 8.302.17 |
| Recuperación Elástica por Torsión (%) | Informar | NLT 329/91 |
| Recuperación Elástica, 13°C, 20 cm, 1h | Mínimo 20% | 8.302.19 |

Fuente: Manual de carreteras Vol. 5, 2013

Áridos:

Los áridos a utilizar deben estar libres de materia orgánica, arcilla y materias extrañas, deben ser durables, angulares y bien graduados, provenientes de la trituración de roca o de mezcla con arena natural, sin que ésta supere el 15 %. Los áridos deben cumplir la siguiente granulometría, con métodos definidos en [Manual de Carreteras Vol.8, 2013].

Tabla 2.14: Requisitos de los Áridos para Lechada Asfáltica.

| Ensaye | Exigencia | Método |
|-----------------------------|-------------|----------|
| Equivalente Arena | Min. 45% | 8.202.9 |
| Índice Plasticidad | NP | 8.102.4 |
| Adherencia Riedel-Weber | 0-5 | 8.302.30 |
| Desgaste de Los Ángeles | Máx. 25%(*) | 8.202.11 |
| Índice de Trituración Total | Máx. 3,5% | 8.202.8 |
| Adherencia Método Estático | min. 95% | 8.302.29 |
| Partículas Chancadas | min. 90% | 8.202.6 |

Fuente: Manual de Carreteras Vol. 5, 2013

Tabla 2.15: Bandas Granulométricas para áridos de primera capa y lechada asfáltica.

| Tamices (mm) | Bandas granulométricas Porcentaje en Peso que pasa | | | |
|-----------------|---|----------|----------|----------|
| | Tipo A-1 | Tipo B-1 | Tipo C-1 | Tipo D-1 |
| 12,50 | | | | 100 |
| 10,00 | | 100 | 100 | 85-98 |
| 5,00 | 100 | 85-95 | 70-90 | 62-80 |
| 2,50 | 85-95 | 62-80 | 45-70 | 41-61 |
| 1,25 | 60-80 | 45-65 | 28-50 | 28-46 |
| 0,63 | 40-60 | 30-50 | 18-34 | 18-34 |
| 0,32 | 25-42 | 18-35 | 12-25 | 11-23 |
| 0,16 | 15-30 | 10-24 | 7-17 | 6-15 |
| 0,08 | 10-20 | 5-15 | 5-11 | 4-9 |

Fuente: Manual de Carreteras Vol. 5, 2013

Agua: Se puede utilizar cualquier agua disponible cercana a la obra, libre de impurezas.

Aditivos: existen dos tipos, líquidos y secos. Los aditivos líquidos aumentan la trabajabilidad de las lechadas, el rendimiento, y aceleran o retardan el quiebre de la emulsión. Los aditivos secos son en general finos, de reacción hidráulica, como el cemento, el cual acelera la maduración de la lechada para su puesta en servicio.

Filler: Este cumple la función de relleno granulométrico, evita la segregación de la mezcla y controla el quiebre de la lechada. El filler puede ser cemento hidráulico, cal u otro material inerte de origen calizo.

2.6.2.5 Otta seal.

Corresponde a un sello asfáltico utilizado para proteger una capa granular y consiste en la aplicación de una película gruesa de ligante blando (cemento asfáltico CA 150 – 200, en caliente) recubierta con una capa de agregado pétreo de graduación continua uniformemente distribuida. Puede ser aplicado en una o dos capas.

Para del diseño el agregado pétreo debe cumplir con la granulometría (tabla 2.16) y tipos de cementos asfálticos para Otta seal (Tabla 2.17).

Tabla 2.16: Granulometría del agregado pétreo utilizado para Otta Seal.

| Tamiz [mm] | Gruoso [% que pasa] | Medio [% que pasa] | Fino [% que pasa] |
|------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| 19 | 100 | 100 | 100 |
| 16 | 80-100 | 84-100 | 93-100 |
| 13,2 | 52-82 | 68-94 | 84-100 |
| 9,5 | 36-58 | 44-73 | 70-98 |
| 6,7 | 20-40 | 29-54 | 54-80 |
| 4,75 | 10 -30 | 19-42 | 44-70 |
| 2 | 0-8 | 3-18 | 20-48 |
| 1,18 | 0-5 | 1-14 | 15-38 |
| 0,425 | 0-2 | 0-6 | 7-25 |
| 0,075 | 0-1 | 0-2 | 3-10 |

Fuente: Manual de Carreteras Vol.5, 2013

Tabla 2.17: Tipos de cementos asfálticos aplicados para el Otta Seal.

| TMDA | TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO | | |
|----------|---------------------------|-------------|-------------------|
| | Suelo Gruoso | Suelo Medio | Suelo Fino |
| >1000 | No Aplicable | CA 150-200 | MC 3000 MC 800 |
| 100-1000 | CA 150-200 | CA 150-200 | MC 3000 MC 800 |
| <100 | CA 150-200 | MC 3000 | MC 3000 |

Fuente: Manual de Carreteras Vol. 5, 2013

La aplicación y método constructivo para proteger la capa granular con Otta Seal se resume en los siguientes puntos:

- ✓ Preparación del terreno para la aplicación del cemento asfáltico. Por lo general no es necesario ya que la capa de protección de la carpeta de rodadura es aplicada sobre la superficie existente.
- ✓ Aplicación del cemento asfáltico mediante camiones regadores sobre la superficie. El tipo de cemento asfáltico depende de la granulometría del agregado pétreo y el tránsito que pasa por el camino. Por lo general se usa del tipo CA 150-200, para el caso de los caminos de bajo tránsito del país.
- ✓ Colocación del agregado pétreo, este procedimiento puede ser ejecutado por un esparcidor mecánico o de forma manual.
- ✓ Compactación mediante la apertura del tráfico. La compactación mediante el tráfico es esencial para alcanzar un nivel de maduración y funcionalidad óptima del Otta Seal.

- ✓ En el proceso de maduración de las superficies tratadas con Otta Seal no se aprecian efectos inmediatos. Después de la construcción, la apariencia de la superficie tratada es muy similar a un camino de grava, luego de 2 a 3 semanas se puede observar menor cantidad de agregado pétreo suelto sobre la superficie del camino. Al cabo de seis meses la carpeta de rodadura alcanza una apariencia final muy parecida a la de los caminos tratado con mezcla asfáltica, aunque de superficies menos regular.

2.6.2.6 Cape Seal.

Este tratamiento aplicado a la carpeta de rodadura consiste en un recubrimiento asfáltico que corresponde a un tratamiento superficial asfáltico simple, recubierto por arios de granulometría con tamaño máximo de 20 mm (3/4"), conforme a lo descrito en sección 5.407 del Manual de Carreteras, Vol. 5, aplicando posteriormente una segunda capa correspondiente a una lechada asfáltica o micro pavimento, de granulometría con tamaño máximo 10 mm (3/8"), conforme a lo dispuesto en Manual de Carreteras Vol. 5 en sección 5.406.

Materiales:

Áridos primera capa: Los áridos de la primera capa deben cumplir que el material chancado tenga un mínimo de 70%, el índice de lajas sea menor al 10%, la adherencia método elástico tenga como mínimo un 95%, el desgaste de Los Ángeles sea menor al 25% y la desintegración con sulfato de sodio sea menor al 12%, según lo descrito en tabla 5.407.202 A, presente en Manual de Carreteras, Vol. 5, 2013, además de emplear con banda granulométrica de material pétreo para tratamiento superficial en Cape seal.

Tabla 2.18: Granulometría de material pétreo para tratamiento superficial en cape seal

| TAMICES | | TN 20-10 |
|---------|--------|-------------|
| mm | (ASTM) | |
| 40 | 1 1/2" | |
| 25 | 1" | 100 |
| 20 | 3/4" | 90-100 |
| 12,5 | 1/2" | 20-55 |
| 10 | 3/8" | 0-15 |
| 6,3 | 1/4" | |
| 5 | N°4 | 0-5 |
| 2,5 | N°8 | |
| 1,25 | N°16 | |
| 0,08 | N°200 | 0-0,5 |

Fuente: Manual de Carreteras Vol. 5, 2013

Los áridos deben estar dentro de la banda granulométrica descrita en Tabla 5.407.202 B, presente en Manual de Carreteras Vol. 5, 2013

Tabla 2.19: Granulometría de materiales para tratamientos superficiales (TS).

| TAMICES mm (ASTM) | TN 25 - 12,5 | TN 20 - 10 | TN 12,5 - 5 | TN 10 - 2,5 | TN 5 - 2,5 | TN 20 - 12,5a | TN 20 - 12,5b | TN 10 - 6,3a | TN 10 - 6,3b |
|----------------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 40 (1 ½") | 100 | | | | | | | | |
| 25 (1") | 90 - 100 | 100 | | | | 100 | 100 | | |
| 20 (¾") | 20 - 55 | 90 - 100 | 100 | | | 85 - 100 | 95 - 100 | | |
| 12,5 (1/2") | 0 - 10 | 20 - 55 | 90 - 100 | 100 | | 0 - 20 | 0 - 20 | 100 | 100 |
| 10 (3/8") | 0 - 5 | 0 - 15 | 40 - 70 | 85 - 100 | 100 | 0 - 7 | 0 - 5 | 95 - 100 | 85 - 100 |
| 6,3(1/4") | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0 - 40 | 0 - 25 |
| 5 (Nº 4) | --- | 0 - 5 | 0 - 15 | 10 - 30 | 85 - 100 | --- | --- | 0 - 5 | 0 - 10 |
| 2,5 (Nº 8) | --- | --- | 0 - 5 | 0 - 10 | 10 - 40 | 0 - 1 | --- | --- | 0 - 1 |
| 1,25 (Nº 16) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0 - 1 | 0 - 1 | --- |
| 0,08 (Nº 200) | 0 - 0,5 | 0 - 0,5 | 0 - 0,5 | 0 - 0,5 | 0 - 0,5 | 0 - 0,5 | 0 - 0,5 | 0 - 0,5 | 0 - 0,5 |

- Las bandas granulométricas TN 20-12,5 "a" y "b", y TN 10-6,3 "a" y "b", se utilizan normalmente cuando se especifiquen tratamientos superficiales de tamaño único. El porcentaje de árido chancado en estos casos, será de mínimo 95% según Método descrito [Método 8.202.6, Manual de Carreteras Vol. 8, 2013]

2.7 Criterios y selección de parámetros de diseño para caminos de Bajo Volumen de Tránsito.

2.7.1 Serviciabilidad

Los criterios de falla de los métodos de diseño mecanicistas utilizados no se relacionan con el concepto de serviciabilidad PSI o IRI, por lo cual se recomiendan los siguientes criterios de serviciabilidad [Guillermo Thenoux Z, et al, 2002]:

- ✓ Para los pavimentos de bajo volumen de tránsito se recomienda un IRI inicial de máximo 3,0 m/km y un IRI terminal de máximo 8,0 m/km, sin perjuicio de poder utilizar estándares más exigentes.

2.7.1.1 Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El Índice Internacional de Regularidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino.

El cálculo matemático del IRI está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km. o millas) que se produce por los movimientos al vehículo, cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/hr Se expresa en unidades de mm/m, m/km, in/mi, etc.

En otras palabras, el IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino y sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial de un camino.

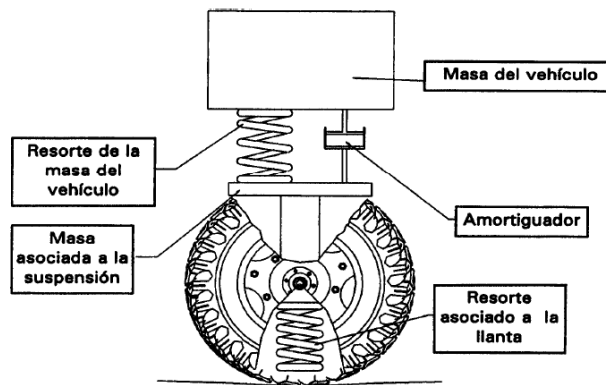


Figura 2.7: Representación gráfica del modelo "Cuarto de Carro" Fuente: "Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México", 1998

2.7.2 Tránsito de diseño

Dado que los vehículos livianos no contribuyen significativamente al daño estructural de las capas del pavimento, se consideran sólo los vehículos pesados para estimar la cantidad de solicitaciones que afectarán al camino durante su vida de servicio, expresados como Ejes Equivalentes.

Para determinar los Ejes Equivalentes de diseño se requerirá de la siguiente información:

- ✓ Período de diseño estructural
- ✓ TMDA y Tasa de Crecimiento
- ✓ Estratigrafía de carga de vehículos pesados

2.7.2.1 Período de Diseño Estructural.

El período de diseño estructural corresponde al tiempo en el cual el pavimento construido debe proveer un adecuado nivel de servicio que asegure movilidad, accesibilidad y seguridad considerando sólo la conservación rutinaria. Para lo anterior, es indispensable que el pavimento posea estándares mínimos de conservación.

2.7.2.2 TMDA y Tasa de Crecimiento.

Tránsito Medio Diario Anual (TMDA)

Según lo descrito en la sección 3.603.202 (3) del Manual de Carreteras Vol. 3, 2013 el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) es un indicador que define el total de vehículos que circula como promedio diario en un año. Si del TMDA se resta el tránsito liviano, quedan solo los camiones y buses, que son los que interesan para el diseño del pavimento.

En la sección 2.603 presente en el Manual de Carreteras Vol.2, 2013, se describe en detalle aspectos relevantes a composición, variaciones y medición del tránsito.

Por otro lado Guillermo Thenoux Z., et al. menciona en el documento “Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Tránsito” que la estimación de los flujos de tránsito es una de las etapas críticas durante el proceso de diseño estructural de pavimentos, primero porque no es muy usual contar con buenos registros de tránsito en este tipo de vías, segundo porque normalmente presentan importantes variaciones estacionales de tránsito y tercero, debido a la gran incertidumbre que existe sobre el comportamiento del futuro flujo vehicular una vez realizado los mejoramientos de estándar del camino.

La estimación del tránsito generado que producen los cambios de estándar de caminos de bajo volumen de tránsito, son uno de los mayores problemas a los cuales se enfrenta el diseñador al momento de estimar los flujos futuros de tránsito, por lo cual Guillermo Thenoux Z., et al, menciona que las tasas de crecimiento estimadas para este tipo de caminos se encuentran en valores entre el 4% y 7%.

En general los valores de TMDA para cada ruta que se desea analizar, son obtenidos por medio del Plan Nacional de Censos del Departamento de Estadística y Censo de Tránsito de la

Dirección de Vialidad (DV), el cual por medio de puntos censales cercanos a rutas, se pueden obtener o estimar los valores de tránsito medio diario anual, para cada camino, en la figura 2.8 se observan algunos puntos censales cercanos a la localidad de Viña del Mar de la V Región.

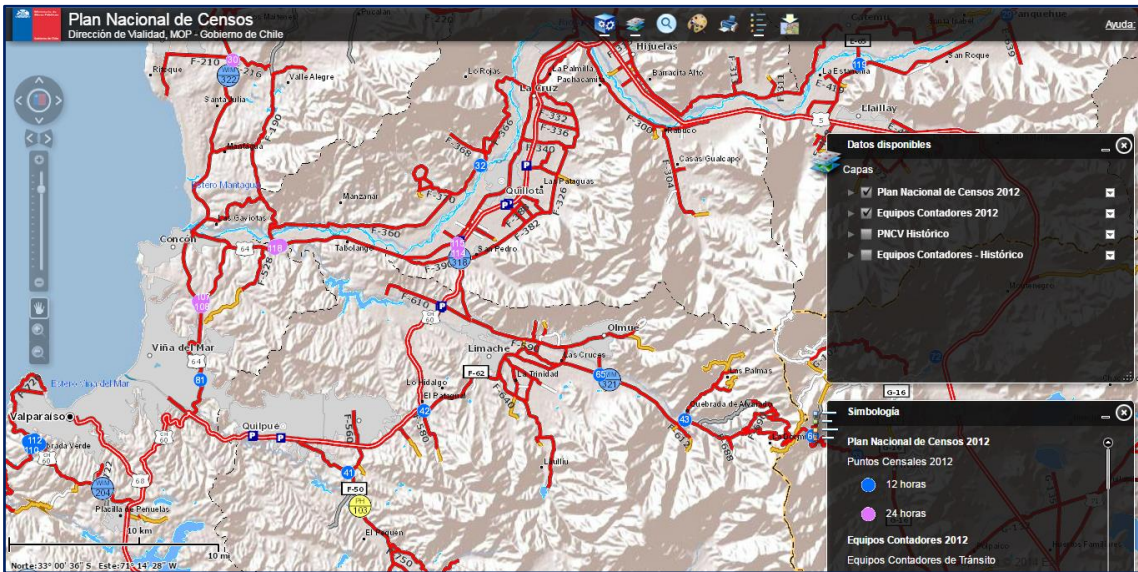


Figura 2.8: Puntos censales cercanos a Viña del Mar, V Región

2.7.2.3 Estratigrafía de carga.

La estratigrafía de carga permite definir cuál es la real influencia que tiene cada tipo de vehículo sobre las solicitudes totales de tránsito representadas por medio de los ejes equivalentes de tránsito. En Chile, el peso del eje estándar para el cálculo de los Ejes Equivalentes de Diseño (EE) está definido en 80 KN. No obstante las estimaciones de las solicitudes realizadas para la vida de servicio del pavimento, pueden estar subestimadas, provocando que el camino analizado tenga una duración menor a la prevista, debido a problemas normativos relacionados a cargas máximas en vehículos pesados.

2.8 Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles (Tratamientos Superficiales).

2.8.1 Método de Diseño Morin – Todor

El numeral 3.604.3 del Manual de Carreteras Volumen 3, entrega un método de diseño para tratamientos superficiales denominado “Tropical Procedures for Flexible Pavements” desarrollado por W.J. Morin y Peter Todor, que permite establecer las dimensiones de las capas estructurales de un pavimento tipo tratamiento superficial.

El aspecto más importante de este método de diseño radica en que los coeficientes estructurales de las capas, los cuales no sólo son función de las propiedades del material que las componen, sino que también de la posición relativa en que estas se encuentran dentro de la

estructura. Los coeficientes estructurales de las diferentes capas y materiales se incluyen en el Anexo en tabla A.1.

Básicamente el procedimiento de cálculo se desarrolla en tres etapas, las cuales se mencionan a continuación:

1. Establecer el Índice Estructural (IE), que es función de los ejes equivalentes (EE) que solicitarán el pavimento durante su vida útil y del coeficiente de variación (v) adecuado para reflejar la variabilidad de la construcción.

$$IE_{requerido} (mm) = 1024 v^{0,354} \left[\frac{9,56}{11,49 - \log EE} - 1 \right] \quad \text{Ecuación 2.8.1}$$

2. En función del valor del CBR, determinado como representativo de la subrasante, se determina el espesor mínimo que debe darse a la suma de espesores de la base más la sub base.

$$e_{min} (mm) = 592 - 308 \log (CBR) \quad \text{Ecuación 2.8.2}$$

3. El proceso de estructuración consiste en determinar una estructura tal que cumpla con las siguientes condiciones:

- ✓ El espesor de la base (h_1) más sub base (h_2) debe ser igual o mayor que e_{min} .

$$h_1 + h_2 \geq e_{min} \quad \text{Ecuación 2.8.3}$$

- ✓ El Índice Estructural de diseño (IE diseño), determinado como la suma de los productos de los espesores por los correspondientes coeficientes estructurales de cada una de las capas que conforman el pavimento y hasta 900 mm por debajo de la rasante, debe ser al menos igual al IE requerido.

$$IE_{diseño} = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + \dots + a_n \cdot h_n \geq IE_{requerido} \quad \text{Ecuación 2.8.4}$$

$$h_1 + h_2 + \dots + h_n = 900 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 2.8.5}$$

a_1, a_2, \dots, a_n : Coeficientes Estructurales, según tabla A1

En general, el diseño de tratamientos superficiales se recomienda cuando las solicitaciones no superan los 750.000 Ejes Equivalentes (EE) en la pista de diseño. Sin embargo, actualmente el tipo de solución doble tratamiento superficial (DTS) se acepta para caminos con tránsito de 1 - 1,5 MEE. Para mayores solicitaciones de tránsito, normalmente es más adecuado considerar pavimentos en base a capas de mezcla asfálticas.

2.8.2 Definición de Paramentos de Diseño Estructural de Tratamientos Superficiales (TSS).

2.8.2.1 Ejes equivalentes (EE).

El método establecido por el Manual de Carreteras Vol. 3, 2013 en la sección 3.604.2, describe los criterios necesarios para la estimación del valor de ejes equivalentes solicitantes que deberá soportar cada estructura.

Es por esto que para el desarrollo de este estudio se utilizó el procesamiento descrito en el numeral 3.604.2 de MC V.3, 2013

2.8.2.2 Factor de ejes equivalentes (F_{eq}).

Uno de los principales aportes de AASHO Road Test, fue establecer un procedimiento para transformar los diferentes tipos y pesos de ejes que circulan por un camino a un eje patrón único. El sistema ideado en esa prueba ha demostrado su conveniencia, a tal punto que la mayoría de los métodos y análisis desarrollados con posterioridad han adoptado tanto en concepto como el procedimiento de cálculo.

Aasho transforma los diferentes ejes que circulan por una ruta, a un eje simple de rueda doble (E.S.R.D) de 80 KN de peso, considerado como eje patrón. El factor de equivalencia es el cociente que resulta entre el número de ejes patrón para producir una determinada pérdida de serviciabilidad respecto de número de ejes de determinada configuración y peso, necesarios para producir la misma pérdida de serviciabilidad; el valor de este cociente es el Factor de Ejes Equivalentes (F_{eq}). [7]

En tabla A2 y A3, Presente en los Anexos de este documento se Observan los valores, para el cálculo de F_{eq}, según tipo de Vehículo, en base a lo descrito en MC V3, 2013.

2.8.2.3 Coeficiente de variación (v).

El coeficiente de variación (razón entre la desviación estándar y el promedio) se determina analizando las deflexiones reales que se producen en los caminos; son un reflejo de la calidad del diseño y uniformidad de la construcción.

Las deflexiones medidas, sugieren que para condiciones de construcción controladas, como las que se dan usualmente en este tipo de obras (tratamientos superficiales), se podría utilizar el coeficiente de variación cercano al 15 %. Sin embargo, en atención a que se trata de datos parciales, el M.C V3 del año 2013 recomienda utilizar el parámetro (v=0,25) [7]

2.8.2.4 Espesor Mínimo de recubrimiento (e_{min}).

El espesor mínimo de recubrimiento (e_{min}), consiste en el valor numérico necesario para garantizar que cada capa pueda aceptar las solicitaciones previstas, sin deteriorarse. Este espesor mínimo es función del CBR de subrasante y se expresa según la relación descrita en ecuación 2.8.2, de este capítulo.

2.9 Deterioros en Tratamientos Superficiales

La cuantificación de los deterioros que afectan a los pavimentos tiene como objetivo evaluar el estado de conservación que presentan éstos en la actualidad, junto con determinar las posibles causas que los provocan.

De esta manera se puede prestar especial atención en las fallas producto de las sollicitaciones de tránsito y diferenciar qué deterioros (y su porcentaje con respecto a la superficie total) son producto de otros factores como defectos de construcción, inadecuada calidad de materiales, condiciones climáticas, etc.

Para la caracterización y medición de cada tipo de deterioro se procederá según la metodología sugerida en el Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados y en el Manual de Carreteras vol. 7, 2013.

El tipo de daño así como la manera de cuantificarlo y algunas posibles causas de su aparición se enumeran a continuación.

2.9.1 Unidades y Zonas de Muestreo

Según lo descrito en “Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados, 2010”, sería ideal registrar cada uno de los deterioros, en forma continua en cada camino, pero esto es altamente dificultoso, debido a la gran cantidad de tiempo, personal y material que se requeriría para la toma de datos y procesamiento. Por lo tanto, se opta por dividir el camino en zonas de muestreo (1 km) y en éstas determinar áreas más pequeñas, denominadas unidades de muestreo (UM), cuya longitud y ubicación se ha determinado en forma estadística con el fin de obtener la mayor representatividad posible de los datos.

2.9.1.1 Unidades de Muestreo para Inspección de Caminos a Nivel de Red

Para los pavimentos de asfalto, se define esta unidad de muestreo como un área rectangular de ancho igual al ancho de una pista y de largo 10 m. En cada kilómetro inspeccionado es necesario medir 4 unidades de muestreo, la primera al inicio del kilómetro y las siguientes cada 250 m. es decir, es necesario completar una muestra de 40 m. de largo por kilómetro.

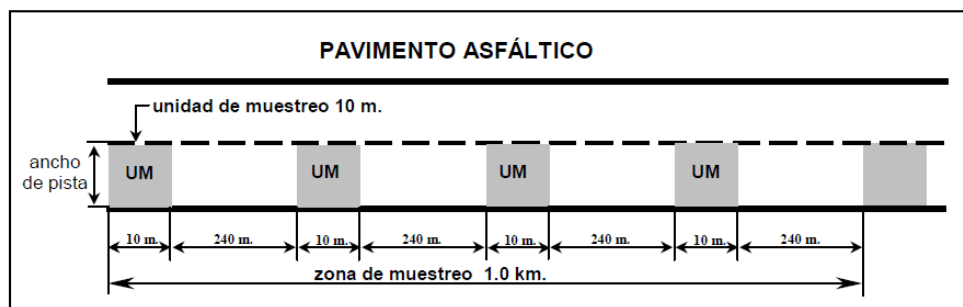


Figura 2.9: Unidad y Zona de Muestreo para Pavimento Asfáltico, Fuente: Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados, 2010.

2.9.2 Agrietamiento Estructural.

Son aquellas fallas producidas por pérdida de capacidad de soporte estructural de las capas del pavimento.

2.9.2.1 Fisuras y grietas longitudinales.

Son predominantemente paralelas al eje de la calzada, ubicadas dentro de la huella por donde circula la mayor parte del tránsito o en el eje de la calzada.

Cuando estas fisuras o grietas coinciden con el eje de la calzada posiblemente son producto de una mala construcción.

En otras posiciones son causadas por gradientes térmicos en mezclas muy rígidas o por asentamientos de la base o de la subrasante por una compactación inadecuada.

La forma de determinar el porcentaje de agrietamiento presente en la calzada, se mide mediante la siguiente ecuación. [8]

$$\text{Arietamiento Lineal (\%)} = \frac{\sqrt{\sum \text{Longitud de grietas Lineales}}}{\text{Area de la Unidad de Muestreo}} * 100 \quad \text{Ecuación 2.9.1}$$

Este porcentaje debe determinarse para cada tipo de grieta lineal: Angostas y Anchas, e informarse en un reporte de acuerdo a los requerimientos de las Bases de cada Concesión Vial para efectos de determinar el cumplimiento de las exigencias contractuales.

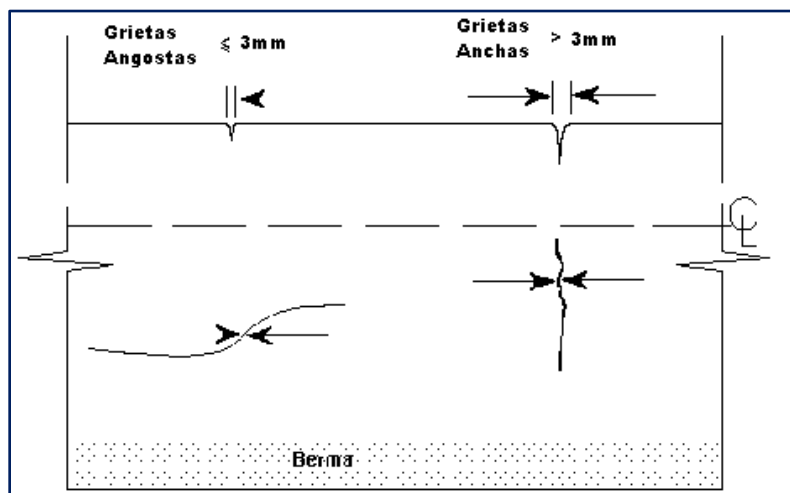


Figura 2.10: Esquema de Grietas Lineales, Fuente: Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados, 2010.

2.9.2.2 Fisuras y grietas por fatiga.

Generalmente son una serie de fisuras interconectadas entre sí en su fase inicial, al evolucionar el deterioro se forman trozos de ángulos agudos. En etapas avanzadas forman un deterioro parecido a una "malla de gallinero" o "piel de cocodrilo". Ocurren en las zonas que reciben la mayor cantidad de sollicitaciones.

Este tipo de agrietamiento es causado por deflexiones excesivas en la carpeta de rodadura al estar apoyadas sobre una base o sub base mal compactada o saturada.

El porcentaje (%) de agrietamiento para este tipo de deterioro, se calculará de la siguiente manera: [8]

$$\text{Arietamiento de Piel de Cocodrilo} = \frac{\sum \text{Áreas agrietadas}}{\text{Área de Unidad de Muestreo}} * 100 \text{ Ecuación 2.9.2}$$



Figura 2.11: Grietas Tipo Piel de Cocodrilo

2.9.2.3 Pérdida de áridos.

Es la pérdida del mortero asfáltico superficial quedando expuestos parcialmente el árido más grueso, en general, concentrada en la huellas.

Las causas posibles son la falta de adherencia entre el ligante y los áridos o una mezcla asfáltica mal diseñada, ya sea por ligante inadecuado, áridos sucios o por cubrimiento no uniforme del árido.

La ecuación que permite determinar la pérdida de áridos en (%), se encuentra definida en "Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados y en el Manual de Carreteras vol. 7, 2013".

2.9.2.4 Baches abiertos.

Es el desprendimiento y pérdida localizada de material que forma la carpeta de rodadura y a veces parte de la base. Generalmente se presenta con una geometría circular con diámetro variable. Se mide el área del cuadrilátero que circunscribe al bache en metros cuadrados (m²), presentes en unidades y zonas de muestreo. Para ser considerado como bache al menos una de sus dimensiones debe tener un mínimo de profundidad de 150 mm.

Las causas probables de la aparición de baches en la carpeta de rodadura pueden ser un pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante, drenaje inadecuado o insuficiente, defectos de construcción, derrame de solventes (gasolina, diesel, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.

Este tipo de falla en tratamientos superficiales son las que tienen mayor importancia dentro de las inspecciones desarrolladas para este tipo de caminos con TS, debido a su gran influencia en la pérdida de serviciabilidad de las rutas de bajo volumen de tránsito. Es por esto que en capítulos posteriores se pondrá énfasis en este ítem en particular.



Figura 2.12: Baches Abiertos en Carpeta con TSS

2.9.2.5 Ahuellamiento.

Es el hundimiento longitudinal que coincide con la huella por donde circula la mayor parte del tránsito y que puede encontrarse asociado a desplazamientos transversales de la carpeta. Para su medición, se materializa la superficie teórica (sin deformación) con un elemento rígido horizontal y se mide el descenso en mm.

Algunas de las posibles causas son: una compactación insuficiente de la base y/o de la mezcla asfáltica, base con una capacidad de soporte inadecuada (falta de traba mecánica), diseño inadecuado de la mezcla asfáltica ya sea por exceso de asfalto o ligante muy blando, mezcla con baja estabilidad Marshall, etc.

2.9.2.6 Exudación.

Es la presencia localizada de ligante libre por emigración hacia la superficie del pavimento con áridos totalmente sumergidos, que habitualmente forma una película brillante y a veces pegajosa.

Esto puede deberse a dosificación deficiente de la mezcla, exceso de asfalto, volumen de huecos insuficiente o ligante muy blando.

2.9.2.7 Descenso de la berma.

Es la diferencia de altura entre el borde externo del pavimento y la berma. Este asentamiento de la berma es generalmente producto de una compactación insuficiente, en bermas no revestidas. Principalmente se produce por el tránsito, también por erosión de la capa superficial por agua que escurre desde el pavimento hacia el borde externo de la plataforma. En zonas frías, con ciclos de hielo y deshielo, se produce por descompactación producida por la penetración de agua.

Capítulo 3

3. Análisis del comportamiento de las Soluciones Básicas

Según los datos disponibles en la Dirección de Vialidad, los Informes consultados y entrevistas realizadas a expertos de distintas zonas del territorio nacional, ha sido posible formular una apreciación del comportamiento de las diferentes soluciones básicas y sus necesidades de mantenimiento.

Los comportamientos de las soluciones básicas tienen similitudes de acuerdo al tipo de carpeta de rodadura que posean, ya sea por medio de estabilizaciones granulares o capas de protección asfáltica (CAPRO).

En este capítulo se tratará con mayor profundidad el comportamiento que presentan las soluciones del tipo capa de protección asfáltica principalmente rutas compuestas con carpeta de rodado del tipo tratamiento superficial simple (TSS), lo que servirá como base para el análisis que se desarrollará en los capítulos posteriores.

3.1 Comportamientos de las Estabilizaciones Granulares

Las capas granulares estabilizadas con sales presentan un buen comportamiento si se encuentran en zonas poco lluviosas, pudiendo absorber una cierta cantidad de agua sin deformarse significativamente. Una cantidad de agua elevada provoca la disolución de parte de la sal y es arrastrada fuera de la mezcla con parte del suelo, provocando pérdida de áridos y deformaciones en la capa granular.

El comportamiento mejora en la medida que se ejecuten las conservaciones de las carpetas, adecuadas y oportunas. Las carpetas bien ejecutadas pueden durar dos años sin deformaciones, pero generalmente antes del tercer año requieren algún grado de conservación (estas apreciaciones pueden variar según sea el nivel de tránsito, humedad o la frecuencia de las lluvias).

Este comportamiento de las capas estabilizadas con cloruros, depende de las características de los suelos, de la cantidad y tamaño de los finos, de la plasticidad, y también de la cantidad de sal de la mezcla. Así mismo, la optimización del diseño y de los procesos constructivos debe considerar pruebas de terreno en cada situación particular, aprovechando la experiencia en proyectos cercanos y similares.

Las características geométricas de los caminos no son notoriamente influyentes en el comportamiento de las estabilizaciones, aunque se observan algunos deterioros en los bordes de carpetas angostas, curvas de radios reducidos, pendientes elevadas e intersecciones de caminos. [9]

3.2 Comportamientos de las Capas de Protección

Se puede afirmar que la mayoría de las Soluciones Básicas con capas de protección asfáltica se han comportado de una manera exitosa, especialmente cuando se han aplicado las operaciones de conservaciones oportunas y suficientes.

Según una encuesta técnica realizada a diversos funcionarios de las Direcciones Regionales de Vialidad sobre el comportamiento de las distintas soluciones con capa de protección aplicadas en las regiones de la zona central del país, se obtuvieron estimaciones cuantitativas y cualitativas promedio.

En la Tabla 3.1 se muestran las duraciones teóricas (estimadas) antes de realizar una conservación a la carpeta de las distintas soluciones. Es posible apreciar, que según este criterio es posible hacer una sub-clasificación, obteniendo así cuatro grupos.

Tabla 3.1: Duración antes de la conservación de los caminos con capa de protección

| Soluciones | Duración antes de realizar conservación (años) |
|--|--|
| Imprimación reforzada y Lechada asfáltica | 2 |
| Tratamiento superficial simple | 4 |
| <i>Doble tratamiento superficial y Cape Seal</i> | 7 |
| <i>Mezcla asfáltica</i> | 10 |

Fuente: Elaboración Propia

Las duraciones de las estimaciones anteriores son variables dependientes de distintos factores, tales como: problemas constructivos, tipo de tránsito y condiciones climáticas. En este caso se consideraron caminos sin problemas constructivos, condiciones de tránsitos, suelo y terrenos intermedios, dentro de las que se presentan en la zona central.

En la práctica se ha observado que este tipo de soluciones no logran en la actualidad duraciones según los descrito en la tabla 3.1, sin embargo, para efectos del análisis se considerarán las duraciones teóricas mencionadas.

Los principales deterioros, comunes a todas las soluciones de este tipo para caminos de bajo volumen de tránsito, son principalmente los baches y los desprendimientos de áridos. En consecuencia, la operación de conservación rutinaria realizada en la carpeta de rodadura es el bacheo y para la conservación periódica se llevan a cabo sellos asfálticos, que buscan aumentar gradualmente el nivel de camino.

3.3 Auscultación en Soluciones con Capa de Protección

La auscultación se define como un proceso de dos fases que permite, mediante un proceso sistemático, tomar datos de estado de un pavimento y sintetizarlos en indicadores o índices objetivos. Se clasifica en auscultación Estructural y Funcional.

Dentro de las características funcionales, se agrupan la rugosidad y resistencia al deslizamiento, en tanto que en las estructurales se cuenta fundamentalmente la capacidad estructural. Otro indicador, que agrupa la condición estructural y funcional de un pavimento son los defectos superficiales. La forma de medición de tipo severidad y extensión, varía según las características del mismo.

Para el caso de caminos con Solución Básica se cuenta con registros de inspección visual de deterioros superficiales, realizados en diferentes periodos de tiempo. En cuanto a los parámetros funcionales, sólo se ha medido la rugosidad (IRI), existiendo pocos registros, principalmente en soluciones con capas de protección.

3.3.1 Inspección Visual

La inspección visual tiene como objetivo registrar cualitativa y cuantitativamente el nivel de deterioro en los caminos inspeccionados, para obtener un índice estadístico que refleje el comportamiento de cada tipo de soluciones básicas aplicadas a las carpetas de rodadura.

Para evaluar el comportamiento de la superficie de rodadura de los Caminos Básicos, se ha propuesto un sistema de auscultación visual sistemático, que consiste en examinar unidades de muestreo de la calzada, distribuidas regularmente a lo largo del camino. Luego de un procesamiento de estos datos, se obtiene información por kilómetro, de variables relevantes para la toma de decisiones respecto al estado en que se encuentra y una proposición general de las acciones de mantenimiento que se deben realizar. [9]

Capítulo 4

4. Antecedentes generales de Rutas seleccionadas

Para el presente trabajo se seleccionaron rutas pertenecientes a la Región de Valparaíso, según describen los alcances de este documento, por lo cual es importante describir parámetros generales de cada camino los cuales serán utilizados como materia de análisis en capítulos posteriores.

Para efectos de general un análisis consistente, de rutas presentes en la Región de Valparaíso se seleccionaron caminos que tengan características similares de carpeta de rodado (TSS), con el objeto de simplificar variables que puedan dar incertidumbre a análisis de esta red de Caminos Básicos, teniendo en consideración que este tipo de rutas (caminos de bajo volumen de tránsito) con tratamiento superficial simple sobre la carpeta de rodado, en forma general describen de buena forma los procedimientos de cálculos y diseño utilizados en la actualidad.

4.1 Ubicación de rutas.

Para el análisis que se ejecutará en los capítulos posteriores, se seleccionaron un total de 16 rutas presentes en diferentes localidades de la Región de Valparaíso, las que se resumen en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Resumen de rutas Seleccionadas Región de Valparaíso.

| Ruta N° | NOMBRE CAMINO | ROL | TIPO SUPERFICIE. | LONG Km | PROVINCIA | COMUNA |
|---------|--|---------|------------------|---------|-------------|---------------|
| 1 | Auco - Cruce E-877 (ex El Barón) | E-683 | TSS | 2,69 | LOS ANDES | RINCONADA |
| 2 | Cementerio Casuto - Potrerillos | E-859 | TSS | 1,7 | LOS ANDES | RINCONADA |
| 3 | Alicahue-Chincolco-Pedernal | E-375 | TSS | 43,30 | PETORCA | PETORCA |
| 4 | Palquico-Frutillar | E-315 | TSS | 24,50 | PETORCA | PETORCA |
| 5 | Bucalemu - San Guillermo | S/Rol 1 | TSS | 3,45 | SAN ANTONIO | SANTO DOMINGO |
| 6 | Cruce E-35 (Puente Illalolén) - Valle Hermoso - La Higuera | E-285 | TTS | 8,20 | PETORCA | LA LIGUA |
| 7 | Putando - Resguardo Los Patos | E-525 | TSS | 20,85 | SAN FELIPE | PUTAENDO |
| 8 | Catemu - Cerrillos - Tallagua | E-615 | TTS | 13,30 | SAN FELIPE | CATEMU |
| 9 | Escuela Agrícola - Las Vacas | E-619 | TSS | 6,60 | SAN FELIPE | CATEMU |
| 10 | Variante El Carmen | E-739 | TTS | 2,82 | LOS ANDES | SAN ESTEBAN |
| 11 | Til Til - Limache, sector: Cuesta La Dormida (Limache) | F-10-G | TTS | 44,80 | MARGA-MARGA | LIMACHE |
| 12 | Nogales - Hijuelas - Catemu | F-301-E | TTS | 36,30 | QUILLOTA | NOGALES |
| 13 | Melipilla - Bollenar - Casablanca | F-74-G | TTS | 53,60 | VALPARAÍSO | CASABLANCA |
| 14 | Cabildo - La Vega - Guayacán - El Tártaro - Putaendo | E-41 | TTS | 66,20 | PETORCA | CABILDO |
| 15 | Cruce Ruta 62 - Los Laureles | F-610 | TSS | 7,95 | MARGA-MARGA | LIMACHE |
| 16 | La Peña - Cerro El Peñón (El Llano) | F-680 | TTS | 2,70 | MARGA-MARGA | OLMUÉ |

4.2 CBR de subrasante de rutas seleccionadas.

Debido a que no existen estudios específicos de mecánica de suelos para las subrasante de cada una de las rutas seleccionadas, todos los valores considerados para este estudio, fueron entregados por entrevistas realizadas a profesionales destacados presentes en el laboratorio Regional de Vialidad de la V Región, por lo cual se encuentran justificado por la experiencia de estos profesionales los valores aproximados de CBR de subrasante entregados para cada camino.

A continuación se describe el valor del CBR estimado por los profesionales, para cada ruta presente en este estudio.

Los el rango de valores fluctúan en función de lo registrado en informes presentes en Anexo D.

Tabla 4.2: CBR subrasante por Rutas.

| Ruta N° | NOMBRE CAMINO | ROL | TIPO SUP. | LONG | CBR Subrasante estimado (%) |
|---------|--|---------|-----------|-------|-----------------------------|
| 1 | Auco - Cruce E-877 (ex El Barón) | E-683 | TSS | 2,69 | 18 |
| 2 | Cementerio Casuto - Potrerillos | E-859 | TSS | 1,7 | 23 |
| 3 | Alicahue-Chincolco-Pedernal | E-375 | TSS | 43,3 | 20 |
| 4 | Palquico-Frutillar | E-315 | TSS | 24,5 | 15 |
| 5 | Bucalemu - San Guillermo | S/Rol 1 | TSS | 3,45 | 22 |
| 6 | Cruce E-35 (Puente Illalolén) - Valle Hermoso - La Higuera | E-285 | TTS | 8,2 | 19 |
| 7 | Putando - Resguardo Los Patos | E-525 | TSS | 20,85 | 23 |
| 8 | Catemu - Cerrillos - Tallagua | E-615 | TTS | 13,3 | 18 |
| 9 | Escuela Agrícola - Las Vacas | E-619 | TSS | 6,6 | 16 |
| 10 | Variante El Carmen | E-739 | TTS | 2,82 | 22 |
| 11 | Til Til - Limache, sector: Cuesta La Dormida (Limache) | F-10-G | TTS | 44,8 | 20 |
| 12 | Nogales - Hijuelas - Catemu | F-301-E | TTS | 36,3 | 20 |
| 13 | Melipilla - Bollenar - Casablanca | F-74-G | TTS | 53,6 | 16 |
| 14 | Cabildo - La Vega - Guayacán - El Tártaro - Putando | E-41 | TTS | 66,2 | 21 |
| 15 | Cruce Ruta 62 - Los Laureles | F-610 | TSS | 7,95 | 20 |
| 16 | La Peña - Cerro El Peñón (El Llano) | F-680 | TTS | 2,7 | 25 |

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Porcentaje de Baches, existentes en Rutas seleccionadas.

Los valores de falla (% baches), para este estudio, se basaron principalmente según lo expuesto en sección 2.9 de este documento, basado en los deterioros de los tratamientos superficiales, donde se registraron los porcentajes de baches existentes en cada ruta por medio de planillas de inspección utilizadas para este propósito, donde de acuerdo a lo descrito en el Instructivo de Inspección Visual de caminos pavimentados, se logró registrar el porcentaje de falla existente en las rutas analizadas en dos periodos de inspección desarrollados (2011-2014), obteniendo los datos que serán utilizados como base del estudio de modelos de deterioros.

En el capítulo correspondiente a los Anexos C de este documento, se entrega el detalle de las planillas tipo utilizadas para el registro de valores de falla sobre la carpeta de rodado.

En la tabla se entrega un resumen de los valores obtenidos, por medio de la inspección visual abordada.

Tabla 4.3: Resumen de porcentaje de Baches de Rutas seleccionadas.

| Ruta | % Bacheo 2011 | % Baches 2014 |
|------|---------------|-----------------|
| R1 | 21 | 28,00 |
| R2 | 12 | No existe Valor |
| R3 | 16,6 | 19,00 |
| R4 | 25,4 | No existe Valor |
| R5 | 20,58 | 31,00 |
| R6 | 25,2 | No existe Valor |
| R7 | 15,5 | 20,00 |
| R8 | 28,9 | 35,00 |
| R9 | 30,8 | No existe Valor |
| R10 | 16,8 | 25,00 |
| R11 | 21,3 | 27,00 |
| R12 | 26,4 | No existe Valor |
| R13 | 33,7 | No existe Valor |
| R14 | 26 | No existe Valor |
| R15 | 29,1 | No existe Valor |
| R16 | 18,7 | No existe Valor |

4.4 TMDA de Rutas estudiadas.

Los valores de tránsitos medios diarios anuales (TMDA) para cada camino, fueron obtenidos en base a lo descrito en sección 2.7.2 de este documento, el cual describe el método de estimación de tránsito de diseño para diseño de caminos, por lo cual se obtuvo una tabla resumen que presenta los tránsitos estimados, para el desarrollo de análisis de capítulos posteriores.

En tabla 4.4 se presenta el resumen de los datos utilizados, para el análisis de red de Caminos Básicos, donde se utilizó una tasa de crecimiento de 7%.

Tabla 4.4: Tránsitos de diseño 2010 y 2014, de rutas seleccionadas.

| Ruta | TMDA 2010 | Tránsitos proyectados 2014 |
|------|-----------|----------------------------|
| R1 | 176 | 230,7 |
| R2 | 183 | 239,9 |
| R3 | 187 | 245,1 |
| R4 | 192 | 251,7 |
| R5 | 231 | 302,8 |
| R6 | 234 | 306,7 |
| R7 | 235 | 308,0 |
| R8 | 243 | 318,5 |
| R9 | 270 | 353,9 |
| R10 | 269 | 352,6 |
| R11 | 274 | 359,2 |
| R12 | 281 | 368,3 |
| R13 | 387 | 507,3 |
| R14 | 392 | 513,8 |
| R15 | 401 | 525,6 |
| R16 | 403 | 565,2 |

Capítulo 5

5. Descripción de metodología para estimación de Vida Útil en intervenciones de conservación, para Rutas de Bajo Volumen de Tránsito.

Para el desarrollo de esta metodología, se consideraron 16 rutas de bajo volumen de tránsito presentes en la Región de Valparaíso y bajo tuición de la Dirección de Vialidad de la V Región, ejecutadas durante el periodo de 2009 - 2010, las cuales, como se describe en el **capítulo 4** de este documento, poseen el mismo tipo de tratamiento sobre la carpeta de rodado (TSS), presentando cada camino una estratigrafía, según muestra la Figura 5.1.



Figura 5.1: Estratigrafía de Tratamiento Superficial Simple (TSS)

Para el análisis de deterioros de los pavimentos se ejecutaron, por medio del Departamento de Conservación de la Dirección de Vialidad de la Quinta Región, inspecciones visuales según la metodología descrita en el "Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados del Departamento de Gestión Vial de la Dirección de Vialidad, 2010", donde a su vez se consideran los tipos de fallas registrados para las zonas de muestreo, correspondientes a Baches Abiertos sobre la carpeta de rodadura de los caminos.

En la tabla 5.1, se observa un resumen de datos seleccionados para el desarrollo de Análisis de Comportamiento, cabe destacar que los datos registrados corresponden a valores de porcentaje de Baches iniciales del comportamiento de cada ruta, obtenidos en inspecciones visuales desarrolladas el año 2011, por el Departamento de Conservación de la Dirección de Vialidad de la Quinta Región.

Referente al estudio de Tránsitos Medios Diarios Anuales (TMDA), éstos fueron obtenidos de acuerdo a registros y mediciones desarrolladas por el Departamento de Estadística y Censo de Tránsito, en el cual a lo largo del tiempo se ha dedicado a censar en caminos de la red vial bajo la tuición de la Dirección de Vialidad, a fin de obtener el insumo básico para analizar las condiciones de operación y definir políticas de diseños, ingeniería de detalle, construcción, mantenimiento, ampliación de la red vial y su explotación.

Tabla 5.1: Resumen de Datos de Análisis

| RANGO CBR | RUTA | TMDA 2010 | % Bacheo 2011 | CBR |
|----------------------|-------------|------------------|--------------------------|------------|
| (22-25) | R2 | 183 | 12 | 23 |
| | R7 | 235 | 15,5 | 23 |
| | R10 | 269 | 16,8 | 22 |
| | R16 | 403 | 18,7 | 25 |
| (20-22) | R3 | 187 | 16,6 | 20 |
| | R5 | 231 | 20,58 | 22 |
| | R11 | 274 | 21,3 | 20 |
| | R14 | 392 | 26 | 21 |
| (18-20) | R1 | 176 | 21 | 18 |
| | R6 | 234 | 25,2 | 19 |
| | R12 | 281 | 26,4 | 20 |
| | R15 | 401 | 29,1 | 20 |
| (15-18) | R4 | 192 | 25,4 | 15 |
| | R8 | 243 | 28,9 | 18 |
| | R9 | 270 | 30,8 | 16 |
| | R13 | 387 | 33,7 | 16 |

En base a los datos, seleccionados para el estudio de deterioros de rutas seleccionadas, se pudo observar un comportamiento de falla (%de baches), en función del tránsito medio diario anual (TMDA) y CBR de subrasante de cada camino, pudiendo de este modo determinar líneas de tendencias, las cuales describan de mejor forma el comportamiento observado durante el periodo de ejecución de cada ruta (1 años), como se muestra en Figura 5.2.

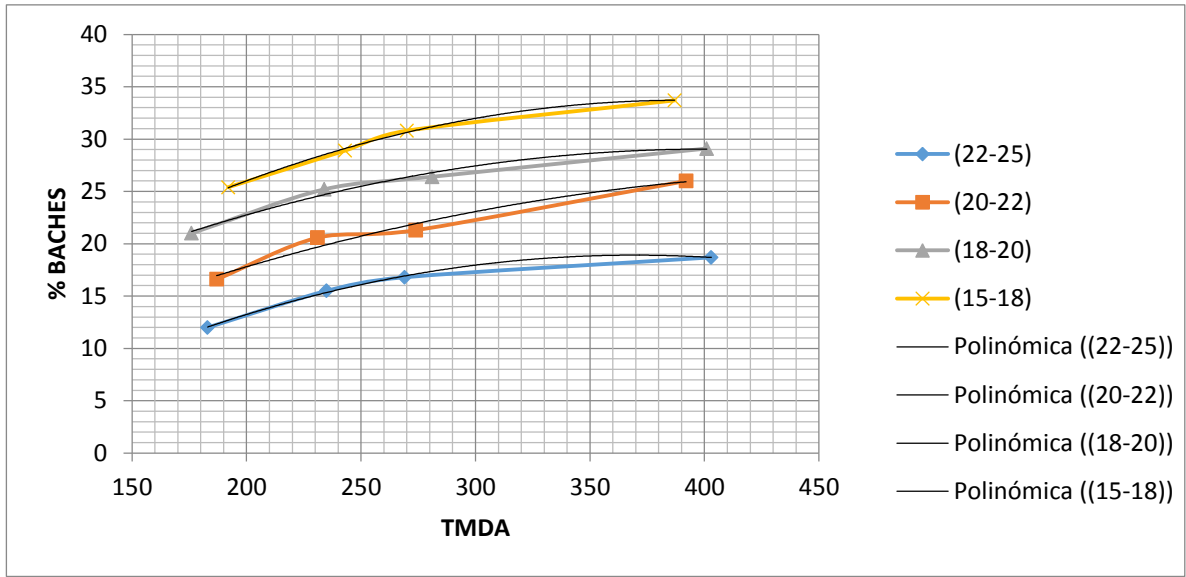


Figura 5.2: Porcentaje de baches en base a Tránsitos Medios Diarios Anuales (TMDA)

5.1 Ecuaciones obtenidas para diferentes rangos de CBR de Subrasante

Por medio de las líneas de tendencias aplicadas sobre los datos registrados, como lo muestra la figura 5.2, se pudieron obtener ecuaciones para los diferentes rangos de CBR de subrasante estudiados, las cuales se detallan a continuación.

Ecuación polinómica para estimar porcentaje de baches presente en ruta, para rangos de CBR Subrasante ($15\% \leq CBR_{SUBRASANTE} < 18\%$)

$$\%Baches = -0,0002 * (TMDA)^2 + 0,1663 * (TMDA) + 1,2827$$

$$R^2 = 0,9981$$

Ecuación polinómica para estimar porcentaje de baches presente en ruta, para rangos de CBR Subrasante ($18\% \leq CBR_{SUBRASANTE} < 20\%$)

$$\%Baches = -0,0002 * (TMDA)^2 + 0,124 * (TMDA) + 4,1183$$

$$R^2 = 0,9871$$

Ecuación polinómica para estimar porcentaje de baches presente en ruta, para rangos de CBR Subrasante ($20\% \leq CBR_{SUBRASANTE} < 22\%$)

$$\%Baches = -0,0001 * (TMDA)^2 + 0,1093 * (TMDA) + 0,4668$$

$$R^2 = 0,9702$$

Ecuación polinómica para estimar porcentaje de baches presente en ruta, para rangos de CBR Subrasante ($22\% \leq CBR_{SUBRASANTE} < 25\%$)

$$\%baches = -0,0002 * (TMDA)^2 + 0,1459 * (TMDA) - 8,0378$$

$$R^2 = 0,9983$$

Teniendo en consideración que los Tránsitos Medios Diarios Anuales (TMDA), se ven sujetos a aumentos en función a una tasa de crecimiento anual para cada ruta según lo descrito en sección 2.603 del Manual de Carreteras Vol.2, 2013, es necesario estimar el comportamiento de falla del camino, en función a los aumentos de tránsito estimados o definir en forma práctica la tendencia esperada para cada caso analizado.

En la tabla 5.2, se registran los datos correspondientes a las diferentes tasas de crecimiento (T.C.) para cada ruta, los tránsitos proyectados y baches registrados corresponden a inspecciones visuales correspondientes al periodo de inspección 2014.

Es importante mencionar que las tasas de crecimiento por año (7%), fueron estimadas como un promedio de tasas de crecimiento por vehículo, como se observan en tablas de Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) por rutas, descritas en anexo B de este documento.

Tabla.5.2: Porcentaje de baches y tránsitos proyectados, 2014

| Ruta | T.c/año | Año de inicio | Año de término | Años proyectado | TMDA 2010 | Tránsitos proyectados 2014 | % Baches 2011 | % Baches 2014 | CBR subrasante |
|------|---------|---------------|----------------|-----------------|-----------|----------------------------|---------------|-----------------|----------------|
| R1 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 176 | 230,7 | 21 | 28,00 | 18 |
| R2 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 183 | 239,9 | 12 | No existe Valor | 23 |
| R3 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 187 | 245,1 | 16,6 | 19,00 | 20 |
| R4 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 192 | 251,7 | 25,4 | No existe Valor | 15 |
| R5 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 231 | 302,8 | 20,58 | 31,00 | 22 |
| R6 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 234 | 306,7 | 25,2 | No existe Valor | 19 |
| R7 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 235 | 308,0 | 15,5 | 20,00 | 23 |
| R8 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 243 | 318,5 | 28,9 | 35,00 | 18 |
| R9 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 270 | 353,9 | 30,8 | No existe Valor | 16 |
| R10 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 269 | 352,6 | 16,8 | 25,00 | 22 |
| R11 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 274 | 359,2 | 21,3 | 27,00 | 20 |
| R12 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 281 | 368,3 | 26,4 | No existe Valor | 20 |
| R13 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 387 | 507,3 | 33,7 | No existe Valor | 16 |
| R14 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 392 | 513,8 | 26 | No existe Valor | 21 |
| R15 | 7% | 2010 | 2014 | 4 | 401 | 525,6 | 29,1 | No existe Valor | 20 |
| R16 | 7% | 2009 | 2014 | 5 | 403 | 565,2 | 18,7 | No existe Valor | 25 |

En base a los registros observados en el periodo de auscultación 2014, no es posible estimar el comportamiento de la falla (% de baches) proyectados, por lo cual es importante mencionar que para efectos prácticos de análisis, en este estudio se considera un comportamiento lineal de la falla en base al aumento del tránsito, ya que debido a la alta incertidumbre existente en el estudio, provocado por el limitado registro existente en la actualidad.

Según lo descrito por Guillermo Thenoux Z. *et al.* 2002, la estimación de los flujos de tránsito es una de las etapas críticas durante el proceso de diseño estructural de pavimentos, primero porque no es muy usual contar con buenos registros de tránsito en este tipo de vías, segundo porque normalmente presentan importantes variaciones estacionales de tránsito y, tercero debido a la gran incertidumbre que existe sobre el comportamiento del futuro flujo vehicular una vez realizado los mejoramientos de estándar del camino.

La estimación del tránsito generado que producen los cambios de estándar de caminos de bajo volumen de tránsito, son uno de los mayores problemas a los cuales se enfrenta el diseñador al momento de estimar los flujos futuros de tránsito.

Es por esto que en este caso se consideraron valores de tasas de crecimiento estimadas en función a lo mencionado por profesionales destacados en el área y registros presentes en Inventarios de caminos pertenecientes a la Dirección de Vialidad de la V Región, las cuales describen aumentos de tasas de crecimiento de hasta un 300% después de generar el cambio de estándar de un Camino Básico.

En tabla 5.4, se observan valores estimados de vida útil (V.U) proyectada en función de las tasas de crecimiento y porcentaje de baches iniciales, considerados en la figura 5.2 de este capítulo, calculados por medio de las variables de entrada de TMDA y CBR de Subrasante.

Para el desarrollo de la tabla adjunta Tabla 5.4, se consideró el procedimiento de una interpolación lineal en base a dato límite establecido por la Dirección de Vialidad de la V Región, el cual define como valor máximo de porcentaje de baches antes de la intervención sobre la carpeta de rodado de 30 %.

$$\text{Vida Útil [años]} = \frac{V.L.B (\%) * T'}{\%Baches * T.C}$$

T': Valor promedio de Periodo en años de primera asucultación

V.L.B: Valor Limite de Baches, Establecido por la Direccion de Vialidad.

T.C: Tasa de crecimiento (Variable)

En este caso los valores de entrada para la proyección son:

T': 1 años

V.L.B: 30%

Tabla 5.3: Duración antes de la conservación de los Caminos con Capa de Protección

| Soluciones | Duración antes de realizar conservación (años) |
|---|---|
| Imprimación reforzada y Lechada asfáltica | 2 |
| Tratamiento superficial simple | 4 |
| Doble tratamiento superficial y Cape Seal | 7 |
| Mezcla asfáltica | 10 |

Tabla 5.4: Planilla de Vida Útil (Años) en función de porcentajes de Baches Inicial

| | | TMDA inicial | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 150 | 159 | 169 | 179 | 189 | 200 | 212 | 224 | 236 | 249 | 262 | 276 | 291 | 306 | 322 | 338 | 355 | 372 | 390 | 409 | 428 | 449 | 469 | 491 | 513 | 536 | |
| % Baches Inicial | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | 4,9 | 4,8 | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 4,4 |
| | 6 | | 4,9 | 4,9 | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,1 | 4,1 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 3,9 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,7 | 3,7 | 3,6 | 3,6 |
| | 7 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,1 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 3,9 | 3,8 | 3,8 | 3,7 | 3,7 | 3,6 | 3,6 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,1 |
| | 8 | 3,8 | 3,7 | 3,6 | 3,6 | 3,5 | 3,5 | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,7 |
| | 9 | 3,3 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 |
| | 10 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| | 11 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | 12 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 |
| | 13 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| | 14 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| | 15 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| | 16 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| | 17 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| | 18 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| | 19 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 |
| | 20 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| | 21 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 |
| | 22 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Calculados los periodos de Vida Útil presentes en la tabla 5.4 para diferentes valores de porcentaje de Baches medidos al primer año de ser ejecutadas las obras de Camino Básico, se generó un gráfico ilustrativo que permite, como segunda alternativa, la estimación de Vida Útil de un camino el cual tenga como tipo de intervención con capa de protección CAPRO, correspondiente a un Tratamiento Superficial Simple (TSS)

En la figura 5.4, se observa el comportamiento de la Vida Útil en función de los Tránsitos Medios Diarios Anuales proyectados, definiendo sus tendencias y ecuaciones respectivas, para porcentajes de Baches Iniciales correspondientes a un 10, 15, 20, 25, 30%.

- **Baches Iniciales:** *Baches iniciales corresponden a valores de falla (% baches), obtenido por medio de figura 5.2 de este capítulo, donde se estiman el valor de porcentaje de baches generados al primer año de ejecutadas las obras de conservación de cada ruta destinada a análisis.*

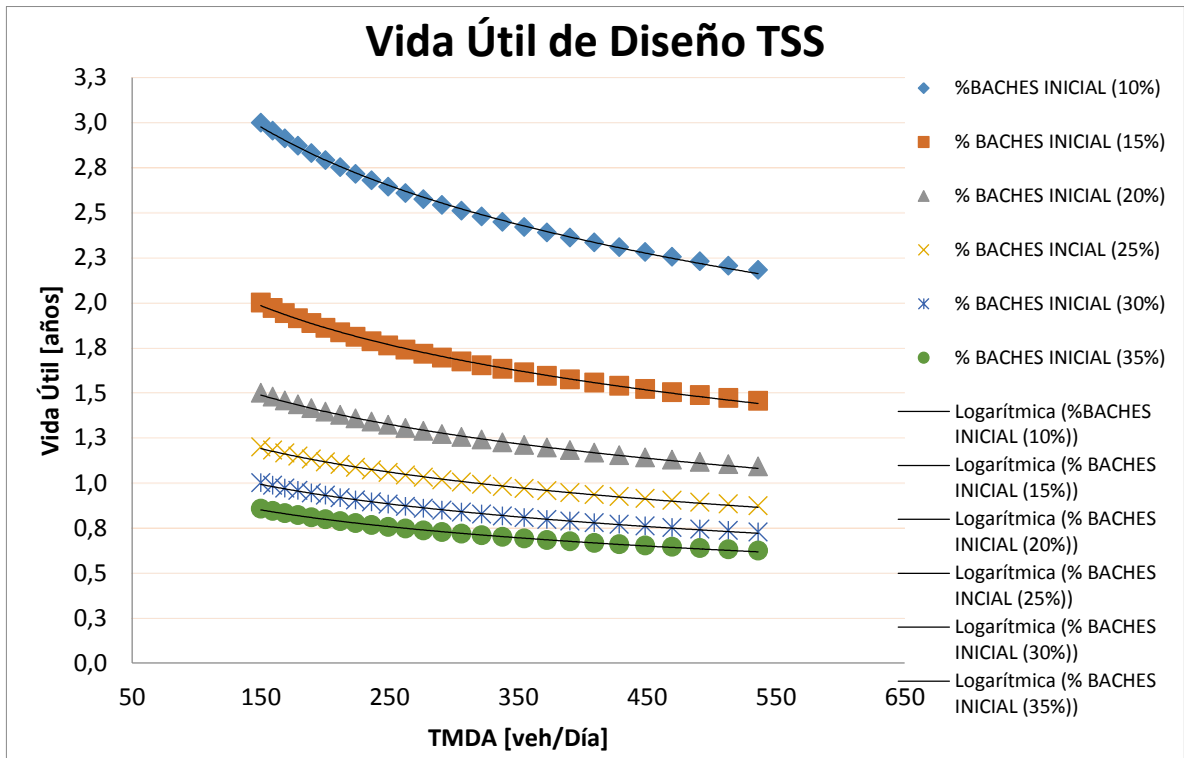


Figura 5.3: Vida Útil de Diseño de TSS

A continuación se expresan las ecuaciones obtenidas para cada curva correspondiente al porcentaje de baches Inicial.

- 1- Ecuación para estimar vida útil presente en ruta, para rangos tasas de crecimientos estimados y % Baches Inicial (10%)

$$Vida \ Útil \ [años] = -0,64 \ln(TMDA) + 6,1825$$

$$R^2 = 0,9982$$

- 2- Ecuación para estimar Vida Útil presente en ruta, para rangos tasas de crecimientos estimados y porcentaje de Baches Inicial (15%)

$$Vida \ Util \ [años] = -0,426 \ln(TMDA) + 4,1217$$

$$R^2 = 0,9982$$

- 3- Ecuación para estimar Vida Útil presente en ruta, para rangos tasas de crecimientos estimados y porcentaje de Baches Inicial (20%)

$$Vida\ Util\ [años] = -0,32ln(TMDA) + 3,0913$$

$$R^2 = 0,9982$$

- 4- Ecuación para estimar Vida Útil presente en ruta, para rangos tasas de crecimientos estimados y porcentaje de Baches Inicial (25%)

$$Vida\ Util\ [años] = -0,256ln(TMDA) + 2,473$$

$$R^2 = 0,9982$$

- 5- Ecuación para estimar Vida Útil presente en ruta, para rangos tasas de crecimientos estimados y porcentaje de Baches Inicial (30%)

$$Vida\ Util\ [años] = -0,213ln(TMDA) + 2,0608$$

$$R^2 = 0,9982$$

- 6- Ecuación para estimar Vida Útil presente en ruta, para rangos tasas de crecimientos estimados y porcentaje de Baches Inicial (35%)

$$Vida\ Util\ [años] = -0,183ln(x) + 1,7664$$

$$R^2 = 0,9982$$

5.1.1.1 Descripción metodológica para estimación de período de duración de las rutas (elaboración propia).

1. Definir TMDA inicial de Ruta a Intervenir.
2. Determinar CBR de Subrasante, donde se emplazará ruta.
3. Ingresar a Figura 5.2, y estimar porcentaje de baches al año de ejecución.
4. Con él porcentaje de Baches, ingresar a tabla 5.4 o Figura 5.4, en función de Tránsitos Medios Diarios Anuales iniciales, correspondientes al primer año de ejecutadas las obras.
5. Definir período de intervención de rutas.

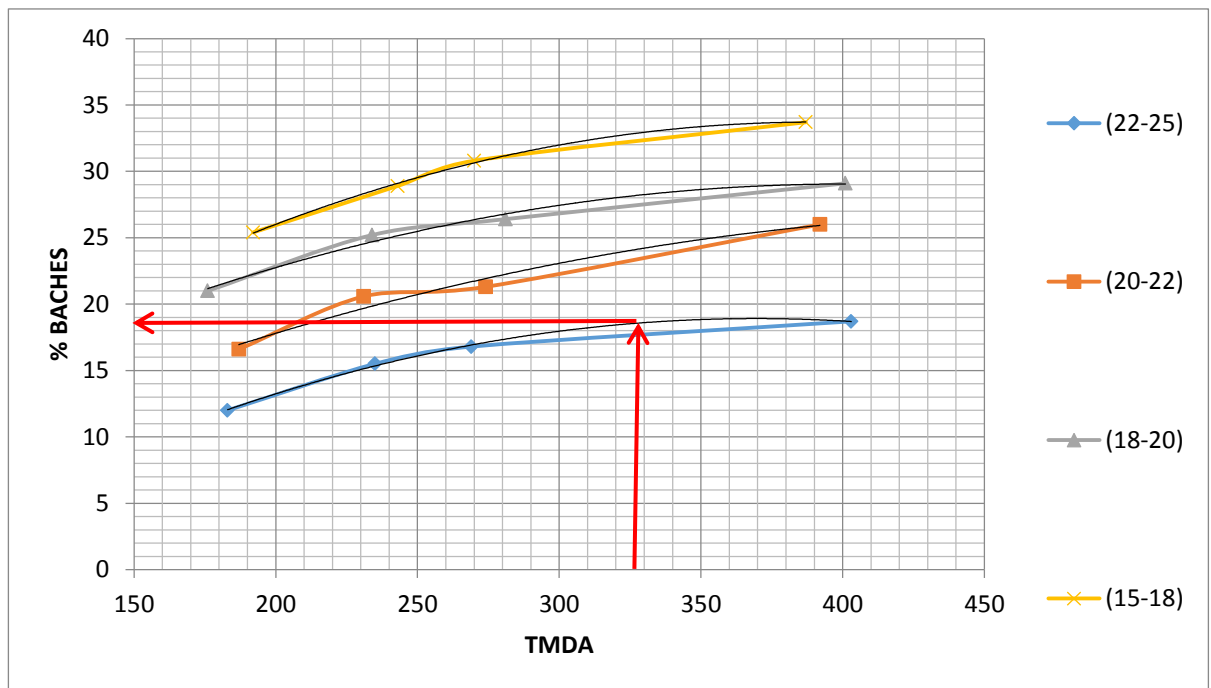
5.1.1.2 Ejemplo de Aplicación de Metodología

Variables de entrada;

- TMDA ruta =325
- CBR Subrasante: 22%

- 1- Ingresar a Figura 5.2 “Porcentaje de Baches Vs TMDA, y estimar Porcentaje de Baches a los dos años de ejecución.

Figura 5.4: Porcentaje de Baches vs TMDA



- 2- Verificar Mediante Ecuaciones presentes en Tabla, en función a rangos de CBR Subrasante y TMDA.

Como el CBR de subrasante corresponde a un valor entre 20 y 23, se utilizará ecuación correspondiente a ese rango:

$$\%baches = -0,0002 * (TMDA)^2 + 0,1459 * (TMDA) - 8,0378$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$\%baches = -0,0002 * (325)^2 + 0,1459 * (325) - 8,0378$$

$\%Baches = 18,25$

- 3- Con el porcentaje de Baches inicial cercano a 20 %, ingresar a tabla o figura 5.4, en función del Transito Medio Diario Anual (TMDA) inicial e intersectar con curva o valor representativo al 20 % obtenido.

Estimación de duración con gráfico y ecuaciones:

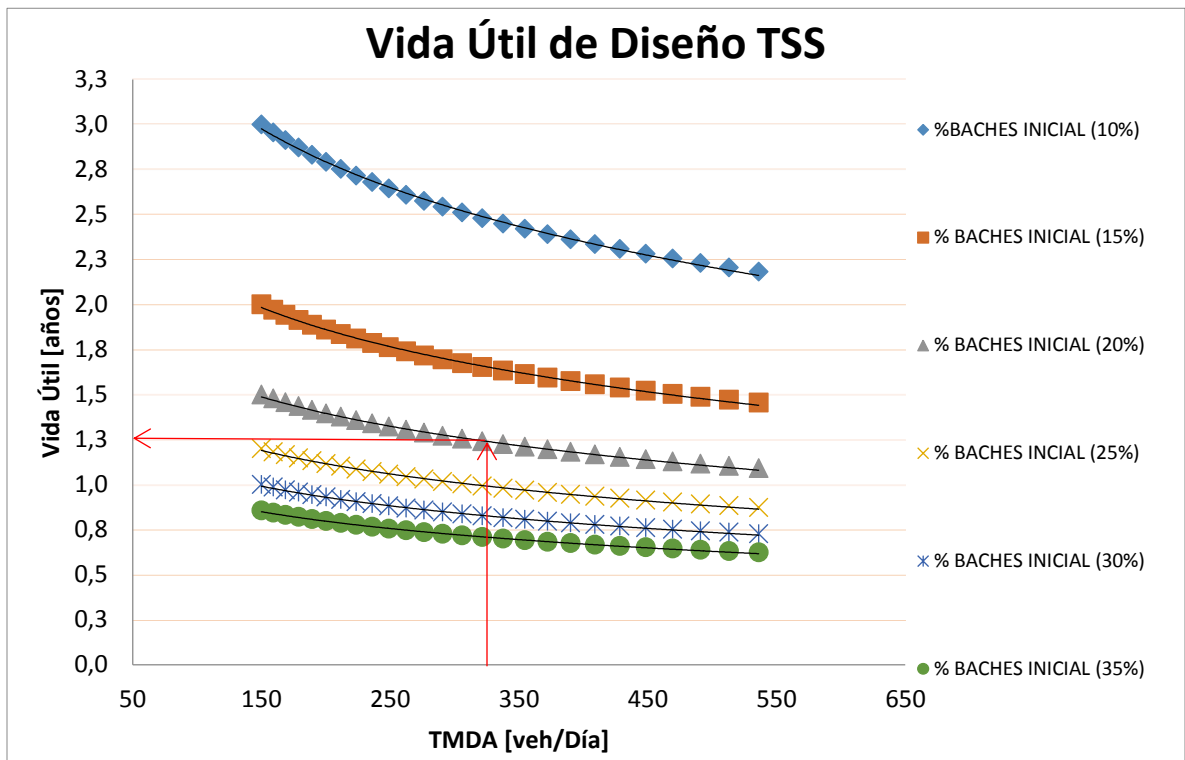


Figura 5.5 Ejemplo de descripción Metodológica, para pronosticar vida útil de ruta.

$$Vida\ Util\ [a\tilde{nos}] = -0,32\ln(TMDA) + 3,0913$$

$$Vida\ Util\ [a\tilde{nos}] = -0,32\ln(325) + 3,0913$$

$$Vida\ Util\ [a\tilde{nos}] = 1,24$$

Vida útil definida Tabla 5.4:

| | 150 | 159 | 169 | 179 | 189 | 200 | 212 | 224 | 236 | 249 | 262 | 276 | 291 | 306 | 322 | 338 | 355 | 372 | 390 | 409 | 428 | 449 | 469 | 491 | 513 | 536 | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,9 | 4,8 | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,4 |
| 6 | | 4,9 | 4,9 | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,1 | 4,1 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 3,9 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,7 | 3,7 | 3,6 | |
| 7 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,1 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 3,9 | 3,8 | 3,8 | 3,7 | 3,7 | 3,6 | 3,6 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | |
| 8 | 3,8 | 3,7 | 3,6 | 3,6 | 3,5 | 3,5 | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | |
| 9 | 3,3 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | |
| 10 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | |
| 11 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | |
| 12 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | |
| 13 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | |
| 14 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | |
| 15 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | |
| 16 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | |
| 17 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| 18 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | |
| 19 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | |
| 20 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | |
| 21 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | |
| 22 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |

$$Vida\ Util\ (aproximada)\ [a\tilde{nos}] = 1,3$$

Capítulo 6

6. Comprobación de Diseño Estructural de Tratamientos Superficiales Simples (TSS)

Para el desarrollo de este capítulo, se consideraron los procedimientos establecidos en la sección 3.604.3 del Manual de Carreteras Vol. 3, 2013, descritos en la sección 2.8 del capítulo 2 de este documento, el cual menciona el diseño de tratamientos superficiales (TS), por medio de método de cálculo definido por W.J Morin y Peter C. Todor. Además para el análisis consistente de los resultados se ejecutaron el diseño de las 16 rutas mencionadas en el capítulo 4, las cuales poseen características representativas a la Región de Valparaíso, respecto a carpeta de rodadura y características de subrasante.

En un primera etapa para el cálculo y comprobación estructural de cada ruta, se consideraron los valores de Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) presentes en los caminos, los cuales por medio de proyecciones definidas en el Manual de Carreteras Vol. 3, 2013, se pueden estimar los valores de Ejes Equivalentes solicitantes sobre cada camino.

En la tabla 6.1 y 6.2, se observan el resumen de datos utilizados para el diseño y comprobación de parámetros estructurales (IE, Feq, emin), definidos para tratamientos superficiales, en base a lo descrito en sección 3.604.3 del Manual de Carreteras Vo.3, 2013.

Por otro lado la estimación de valores de ejes equivalentes, para cada ruta, se tabulan en detalle en Anexo B de este documento, describiendo los factores de equivalencia de carga y tasas de crecimientos por vehículo, utilizados para este estudio.

Tabla 6.1: Valores de Tasas de Crecimiento (T.C) y Factor de Equivalencia (Feq)

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|---------------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C Vehicular | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.Eq | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |

Tabla 6.2: Valores utilizados para Diseño Estructural de rutas seleccionadas

| RUTA | v | EE (4 años) | CBR (subrasante) |
|------|------|-------------|------------------|
| R1 | 0,25 | 328.829 | 18 |
| R2 | 0,25 | 338.517 | 23 |
| R3 | 0,25 | 345.443 | 20 |
| R4 | 0,25 | 329.366 | 15 |
| R5 | 0,25 | 403.762 | 22 |
| R6 | 0,25 | 405.926 | 19 |
| R7 | 0,25 | 342.991 | 23 |
| R8 | 0,25 | 403.059 | 18 |
| R9 | 0,25 | 334.439 | 16 |
| R10 | 0,25 | 350.905 | 22 |
| R11 | 0,25 | 316.337 | 20 |
| R12 | 0,25 | 418.924 | 20 |
| R13 | 0,25 | 546.387 | 16 |
| R14 | 0,25 | 511.135 | 21 |
| R15 | 0,25 | 657.201 | 20 |
| R16 | 0,25 | 522.716 | 25 |

6.1 Cálculo de Índice Estructural (IE).

6.1.1 Ejes equivalentes (EE).

Para determinar el Índice Estructural (IE), es necesario conocer los ejes equivalentes acumulados en la pista de diseño durante el periodo de vida útil asignado al pavimento, de acuerdo a tabla 3.1 (4 años). El método utiliza los ejes equivalentes tal como fueron definidos por AASHTO, de manera que el cálculo se ajusta a conceptos señalados en secciones 3.603.202 y 3.604.103, del Manual de Carreteras Vol. 3, 2013.

6.1.2 Coeficiente de Variación (v).

El coeficiente de variación (razón entre desviación estándar y el promedio) se determina analizando las deflexiones reales que se producen en los caminos, las cuales son un reflejo de la calidad del diseño y a uniformidad de la construcción.

De acuerdo a lo descrito por el Manual de Carreteras, Vol.3, 2013 en sección 3.604, para este diseño se utilizó el valor de (v=0,25) debido a la incertidumbre de datos obtenidos para este estudio.

6.1.3 Índice Estructural (IE)

El Índice Estructural según lo mencionado en numeral 2.8 del capítulo 2, se obtuvo por medio de la siguiente ecuación 2.8.1.

$$IE_{requerido} (mm) = 1024 v^{0,354} \left[\frac{9,56}{11,49 - \log EE} - 1 \right]$$

v: Coeficiente de Variación (0,25)

EE: Ejes equivalentes Acumulados en pista de diseño (Para cada Ruta)

En tabla 6.3, se presentan los valores obtenidos para cada ruta utilizada en análisis.

Tabla 6.3: Índices Estructurales (IE), para rutas seleccionadas.

| RUTA | V | EE (4 años) | IE requerido (mm) |
|------|------|-------------|-------------------|
| R1 | 0,25 | 328.829 | 376 |
| R2 | 0,25 | 338.517 | 379 |
| R3 | 0,25 | 345.443 | 380 |
| R4 | 0,25 | 329.366 | 377 |
| R5 | 0,25 | 403.762 | 392 |
| R6 | 0,25 | 405.926 | 392 |
| R7 | 0,25 | 342.991 | 380 |
| R8 | 0,25 | 403.059 | 392 |
| R9 | 0,25 | 334.439 | 378 |
| R10 | 0,25 | 350.905 | 381 |
| R11 | 0,25 | 316.337 | 374 |
| R12 | 0,25 | 418.924 | 394 |
| R13 | 0,25 | 546.387 | 415 |
| R14 | 0,25 | 511.135 | 410 |
| R15 | 0,25 | 657.201 | 430 |
| R16 | 0,25 | 522.716 | 411 |

6.2 Diseño de Estructura

6.2.1 Espesor mínimo de recubrimiento (e_{min})

La capacidad de soporte de la subrasante, expresada en función del valor de CBR para cada ruta, es el elemento clave en la determinación de los espesores que requieren las diferentes capas de pavimento. Es por esto que para garantizar que cada capa pueda aceptar, sin deteriorarse las sollicitaciones previstas, debe garantizarse un espesor mínimo de capas no tratadas, por lo que de acuerdo a lo descrito en numeral 2.8 del capítulo 2 de este documento, se puede calcular con la siguiente ecuación 2.8.2:

$$e_{min} (mm) = 592 - 308 \log (CBR)$$

En tabla 6.4, se presentan los valores de espesores mínimos de recubrimiento (e_{min}) obtenidos para cada ruta utilizada en el análisis.

Tabla 6.4: Espesores Mínimos de Recubrimiento (e_{min}), para rutas seleccionadas.

| RUTA | CBR (subrasante) | $e_{min}(mm)$ |
|------|------------------|---------------|
| R1 | 18 | 205 |
| R2 | 23 | 173 |
| R3 | 20 | 191 |
| R4 | 15 | 230 |
| R5 | 22 | 179 |
| R6 | 19 | 198 |
| R7 | 23 | 173 |
| R8 | 18 | 205 |
| R9 | 16 | 221 |
| R10 | 22 | 179 |
| R11 | 20 | 191 |
| R12 | 20 | 191 |
| R13 | 16 | 221 |
| R14 | 21 | 185 |
| R15 | 20 | 191 |
| R16 | 25 | 161 |

6.2.2 Estructuración

Este proceso consistió en verificar la estructura de cada ruta, cumpliendo los requerimientos establecidos en sección 2.8 del capítulo 2 de este documento, el cual describe que el proceso de estructuración consiste en determinar una estructura tal que cumpla con las siguientes condiciones:

- ✓ El espesor de la base (h_1) más sub base (h_2) debe ser igual o mayor que e_{min} .

$$h_1 + h_2 \geq e_{min} \quad \text{Ecuación 2.8.3}$$

- ✓ El Índice Estructural de diseño (IE diseño), determinado como la suma de los productos de los espesores por los correspondientes coeficientes estructurales de cada una de las capas que conforman el pavimento y hasta 900 mm por debajo de la rasante, debe ser al menos igual al IE requerido.

$$IE_{diseño} = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + \dots + a_n \cdot h_n \geq IE_{requerido} \quad \text{Ecuación 2.8.4}$$

$$h_1 + h_2 + \dots + h_n = 900 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 2.8.5}$$

a_1, a_2, \dots, a_n : Coeficientes Estructurales, según tabla A1

6.2.2.1 Cálculo de Índices Estructurales.

A continuación se describe el cálculo de Índices estructurales ejecutados para cada ruta perteneciente a este análisis, definiendo para cada caso profundidades de capa, espesores y coeficientes estructurales, obtenidos en Tabla 7.1, presente en los Anexos de este documento.

Tabla 6.5: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°1

| Ruta | R1 | | | | |
|-----------------|---------|-------------|--------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coeficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 18 | 500-900 | 400 | 0,357 | 142,8 |
| Total IE | | | | | 351,9 |

Tabla 6.6: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°2

| Ruta | R2 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 23 | 500-900 | 400 | 0,357 | 142,8 |
| | | | | Total IE | 401,5 |

Tabla 6.7: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°3

| Ruta | R3 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 20 | 500-900 | 400 | 0,481 | 192,4 |
| | | | | Total IE | 401,5 |

Tabla 6.8: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°4

| Ruta | R4 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 15 | 500-900 | 400 | 0,357 | 142,8 |
| | | | | Total IE | 351,9 |

Tabla 6.9: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°5

| Ruta | R5 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 16 | 500-900 | 400 | 0,357 | 142,8 |
| | | | | Total IE | 351,9 |

Tabla 6.10: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°6

| Ruta | R6 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 19 | 500-900 | 400 | 0,357 | 142,8 |
| | | | | Total IE | 351,9 |

Tabla 6.11: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°7

| Ruta | R7 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 23 | 500-900 | 400 | 0,481 | 192,4 |
| | | | | Total IE | 401,5 |

Tabla 6.12: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°8

| Ruta | R8 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 18 | 500-900 | 400 | 0,357 | 142,8 |
| | | | | Total IE | 351,9 |

Tabla 6.13: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°9

| Ruta | R9 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 16 | 500-900 | 400 | 0,357 | 142,8 |
| | | | | Total IE | 351,9 |

Tabla 6.14: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°10

| Ruta | R10 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 22 | 500-900 | 400 | 0,481 | 192,4 |
| | | | | Total IE | 401,5 |

Tabla 6.15: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°11

| Ruta | R11 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 20 | 500-900 | 400 | 0,481 | 192,4 |
| | | | | Total IE | 401,5 |

Tabla 6.16: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°12

| Ruta | R12 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 20 | 500-900 | 400 | 0,481 | 192,4 |
| | | | | Total IE | 401,5 |

Tabla 6.17: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°13

| Ruta | R13 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 16 | 500-900 | 400 | 0,357 | 142,8 |
| | | | | Total IE | 351,9 |

Tabla 6.18: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°14

| Ruta | R14 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 21 | 500-900 | 400 | 0,481 | 192,4 |
| | | | | Total IE | 401,5 |

Tabla 6.19: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°15

| Ruta | R15 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 20 | 500-900 | 400 | 0,481 | 192,4 |
| | | | | Total IE | 401,5 |

Tabla 6.20: Cálculo de Índice Estructural, Ruta N°16

| Ruta | R16 | | | | |
|------------|---------|-------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Capa | CBR [%] | Profundidad | Espesor [mm] | Coficiente Estructural(a_i) | Índice Estructural (IE)[mm] |
| Base CBR | 100 | 0-150 | 150 | 1,394 | 209,1 |
| Sub base | No | 150-500 | 350 | 0 | 0 |
| Subrasante | 25 | 500-900 | 400 | 0,481 | 192,4 |
| | | | | Total IE | 401,5 |

6.2.2.2 Verificación de Estructuración

En tabla 6.5, se resumen los valores obtenidos de Índices Estructurales (IE) y e_{min} , para cada ruta, donde verificando los requisitos de estructuración definidos anteriormente se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 6.21: Verificación de Estructuración TSS, Rutas

| RUTA | IE requerido (mm) | IE obtenido (mm) | Verificación IE | e_{min} (mm) | Espesor Base (mm) | Verificación Espesor | Espesor Aumento Requerido (mm) |
|------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|
| R1 | 376 | 352 | NO CUMPLE | 205 | 150 | AUMENTAR BASE | 55 |
| R2 | 379 | 402 | CUMPLE | 205 | 150 | AUMENTAR BASE | 23 |
| R3 | 380 | 402 | CUMPLE | 191 | 150 | AUMENTAR BASE | 41 |
| R4 | 377 | 352 | NO CUMPLE | 230 | 150 | AUMENTAR BASE | 80 |
| R5 | 392 | 352 | NO CUMPLE | 179 | 150 | AUMENTAR BASE | 29 |
| R6 | 392 | 352 | NO CUMPLE | 198 | 150 | AUMENTAR BASE | 48 |
| R7 | 380 | 402 | CUMPLE | 173 | 150 | AUMENTAR BASE | 23 |
| R8 | 392 | 352 | NO CUMPLE | 205 | 150 | AUMENTAR BASE | 55 |
| R9 | 378 | 352 | NO CUMPLE | 221 | 150 | AUMENTAR BASE | 71 |
| R10 | 381 | 402 | CUMPLE | 179 | 150 | AUMENTAR BASE | 29 |
| R11 | 374 | 402 | CUMPLE | 191 | 150 | AUMENTAR BASE | 41 |
| R12 | 394 | 402 | CUMPLE | 191 | 150 | AUMENTAR BASE | 41 |
| R13 | 415 | 352 | NO CUMPLE | 221 | 150 | AUMENTAR BASE | 71 |
| R14 | 410 | 402 | NO CUMPLE | 185 | 150 | AUMENTAR BASE | 35 |
| R15 | 430 | 402 | NO CUMPLE | 191 | 150 | AUMENTAR BASE | 41 |
| R16 | 411 | 402 | NO CUMPLE | 161 | 150 | AUMENTAR BASE | 11 |

- **No Cumple:** Considera que el valor de IE requerido > IE Calculado.
- **Aumenta Base:** Considera que el valor de espesor de base (e_{base}) es menor al valor de espesor mínimo de recubrimiento (e_{min}), $e_{base} < e_{min}$.

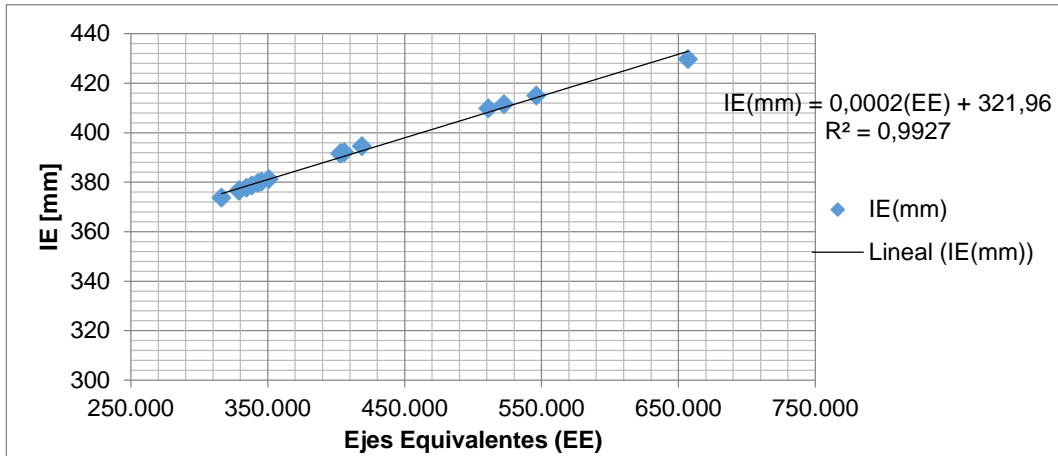


Figura 6.1 Influencia de EE sobre IE

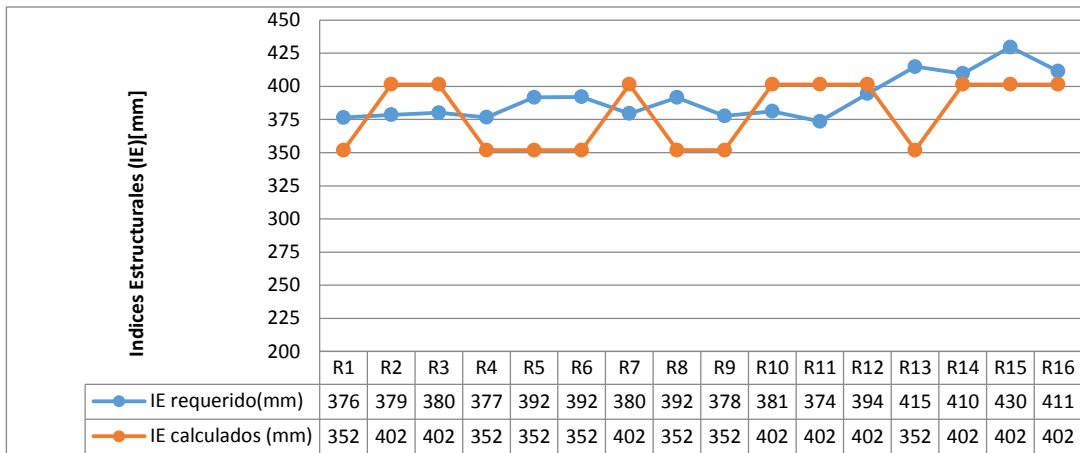


Figura 6.2: Comparación entre IE requerido e IE calculado.

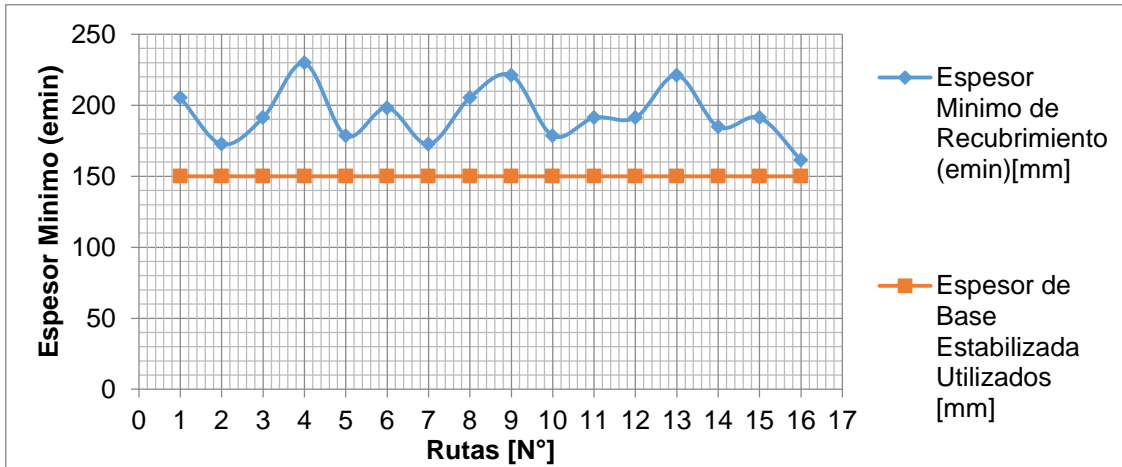


Figura 6.3 Diferencias de Espesor de Base Estabilizada Utilizada Vs espesor mínimo de recubrimiento (*emin*)

Capítulo 7

7. Conclusiones y Recomendaciones.

En base a los datos analizados y el estudio teórico desarrollado, se destacan puntos relevantes en el desarrollo de intervención de este tipo de rutas.

7.1 Deficiencias en diseño y estructuración.

7.1.1 Índice estructural (IE)

Referente a los valores obtenidos en el desarrollo del análisis para cada camino seleccionado, se logró observar que los Índices Estructurales (IE), para algunos casos, no cumplen con el valor requerido según método de diseño de tratamientos superficiales utilizado (Morin-Todor) y en base a lo que describe la Tabla 6.21 de este documento, por lo cual es importante destacar que para cada diseño nuevo que se desee desarrollar, es indispensable estimar de forma óptima los ejes equivalentes solicitantes de cada ruta, debido a la alta sensibilidad que estos provocan en el cálculo de Índices Estructurales (IE) requeridos, los cuales permiten definir en una primera etapa la mejor forma de estructurar cada ruta (Definir espesores de capas), en base a las características de tránsito y subrasante que cada camino posea.

Cabe destacar que como el sistema de diseño se basa en las relaciones que existen entre el comportamiento de una estructura y las deflexiones que experimenta producida por los EE solicitantes, el Índice Estructural es un buen parámetro que permite diferenciar si una ruta cumple con los requerimientos mínimos necesarios de estructura para los años que fueron proyectadas, por lo que para este estudio, como se observa en la figura 6.2 de este documento, los valores obtenidos difieren considerablemente respecto a los valores de IE requeridos, concluyendo entonces que el diseño estructural utilizado en la actualidad para proyectar Caminos Básicos, no cumple en su totalidad con las exigencias establecidas por métodos de diseño de tratamientos superficiales descritos en el Manual de Carreteras V3, 2013.

Por otro lado en la figura 6.1, se describe la tendencia obtenida en base a los valores de ejes equivalentes de cada ruta analizada, donde a medida que las solicitaciones sobre la carpeta de rodado aumentan, el índice estructural también experimenta aumentos en su valor, por lo cual es esperable que para solicitaciones mayores sobre el pavimento, los requerimientos de estructuración sean mayores, provocando de este modo un aumento en los espesores de capas de base y sub base, teniendo en consideración los diferentes coeficientes estructurales dependientes de los valores de CBR de cada capa (ver anexo A, tabla A.1).

7.1.2 Espesor mínimo de Recubrimiento (e_{min})

Sin duda la estructuración desarrollada en la actualidad para este tipo de rutas de bajo volumen de tránsito para intervenciones bajo la categoría de Caminos Básicos por Conservación (CBC), generan una interrogante importante en base a los espesores de capas granulares utilizados en el diseño de rutas en la actualidad, las cuales en forma general en todos de los casos estudiados, presentan la misma estructuración (ver figura 5.1, capítulo 5) a pesar de las diferencias significativas respecto a valores de CBR de Subrasante y Tránsitos solicitantes.

En base al estudio desarrollado, el que consistió en comparar los espesores de base estabilizada utilizados en la actualidad, con los obtenidos por medio del diseño propuesto por W.J Morin y Peter Todor, se pudo observar deficiencias significativas en el espesor de la capa bajo el tratamiento superficial, correspondientes a una base estabilizada con un CBR al 100%.

En el gráfico de la figura 6.3 se muestra un resumen, que describe de forma práctica las diferencias entre los espesores mínimos requeridos y los espesores utilizados en la actualidad en el diseño de rutas de bajo volumen de tránsito en la Región de Valparaíso, donde en ambos casos el tiempo proyectado para cada camino, poseen como límite una durabilidad de 4 años.

En base a lo anterior se destaca, entonces, que es necesario y relevante para cada diseño que se desee desarrollar en el futuro, bajo el concepto de Caminos Básicos (CCBB), tener claro las influencias de cada variable que representa a un camino, como las que fueron abordadas en los párrafos anteriores, por lo que es recomendable impulsar el desarrollo de estudios específicos (Tránsitos, mecánica de suelos, precipitaciones, otros) que ayuden a estructurar y proyectar de la mejor forma posible las rutas que se desean intervenir, con objeto de cumplir con los requerimientos de Vida Útil, para los cuales fueron proyectadas.

7.2 Estudio, análisis y Modelos de Deterioro

7.2.1 Deterioros de TSS.

En general basado del estudio y análisis desarrollado a cada camino, se logra determinar que el comportamiento de los Caminos Básicos por Conservación, no cumplen con los requerimientos de Vida Útil para los cuales son proyectados, por lo que bajo este análisis se pudo obtener curvas que describan, de buena forma, el comportamiento real de las intervenciones desarrolladas en forma general en la actualidad. Pero a pesar de los resultados obtenidos, es importante mencionar que no incluye a la totalidad de los casos que puedan desarrollarse en la región, debido a la alta incertidumbre que generan la limitada nube de datos existente en la actualidad, en las diferentes entidades encargadas a la conservación de Caminos Básicos en la Región de Valparaíso, por lo que se recomienda para cada Dirección Regional encargada de proyectos de CCBB, futuros estudios relacionados en el área de conservación que ayuden a aumentar el espectro de comportamiento de Caminos Básicos pertenecientes a la Región.

Dentro de los estudios que se recomiendan en base a las conclusiones descritas, se pueden mencionar en forma general los siguientes.

7.2.1.1 Estudio de Tránsitos

Se recomienda desarrollar estudios específicos de tránsito (Censos específicos), que describan de manera eficiente los aumentos en las tasas de crecimiento para cada camino en particular diferenciado por vehículos, basados principalmente en puntos censales establecidos por entidades encargadas en la proyección de tránsitos o flujos, como el Plan Nacional de Censos, empresas o profesionales expertos en esta área.

Una buena estimación de tránsitos para cada ruta permitirá, ajustar los diseños en cada caso en particular, describiendo las diferentes características de carpeta (estructuración) encargada de recibir las solicitudes proyectadas.

7.2.1.2 Estudio de suelos

Los valores de CBR de las subrasantes, donde se encuentra emplazado cada camino, poseen un amplio espectro de valores, por lo que el comportamiento estructural y deterioros generados tienen directa relación con la calidad de los suelos donde se proyectan los caminos, por lo cual es recomendable y necesario desarrollar a medida que los presupuestos lo permitan, un estudio para cada caso que ayude obtener los valores más representativos para la subrasante, basados principalmente en proyectos cercanos a las rutas o estudios específicos del sector donde se emplazarán los nuevos caminos, diferenciados por el nivel de importancia en la conectividad que entregarán las rutas proyectadas.

7.2.1.3 Estudio hidrológico.

Si bien este estudio no se enfocó en parámetros de saneamiento de las diferentes rutas analizadas, se puede concluir que, en función del diseño de proyectos actuales, teoría y experiencia de profesionales dedicados al área de conservación, es influyente en el comportamiento y durabilidad de las diferentes capas granulares que se encuentran expuestas a precipitaciones, por lo que se recomienda para estudios posteriores, analizar en detalle la influencia en el deterioro de los Caminos de Bajo Volumen de Tránsito, producida por efectos del agua en el paquete estructural.

7.2.1.4 Metodología de evaluación de vida útil.

En base al estudio desarrollado en este trabajo, se puede concluir que la metodología de evaluación propuesta, para estimación de vida útil de rutas, es una herramienta que aporta en la evaluación de proyectos de conservación además de entregar lineamientos generales en una forma de trabajo distinta a la desarrollada en la actualidad, debido a que permite ser utilizada como herramienta en la toma de decisiones de futuras intervenciones desarrolladas, definiendo o estableciendo parámetros de diseño estructural mínimos para cada caso, en base a la vida útil que se desee proyectar.

7.3 Recomendación general

El estudio desarrollado a la red vial perteneciente a la Región de Valparaíso, bajo conceptos de modelos de deterioro, es un aporte en la evaluación, programación y desarrollo de futuros proyectos, debido a que describen en forma general el comportamiento esperado para cada camino que se desee proyectar en años posteriores, entregando datos importantes respecto a la Vida Útil, que éstos pueden tener, si se llevan a efecto las intervenciones del mismo modo y procedimiento que han sido utilizados en la actualidad.

A su vez este trabajo entrega los lineamientos generales para futuros estudios que deseen sin duda complementar y ajustar los resultados obtenidos, debido a que en la actualidad la nube de datos registrada posee una alta incertidumbre debido a la limitada información existente en la actualidad.

Finalmente, este trabajo aborda el primer paso para el desarrollo de estudios más específicos para los Caminos Básicos del país debido a la importancia que a nivel regional esto significa, pues todo aporte que ayude a definir y ajustar la programación de este tipo de intervenciones contribuirá, sin duda, a optimizar los recursos destinados para la conservación.

Por otra parte, los resultados diferenciados entre lo ejecutado en cada ruta y lo propuesto por el método de diseño utilizado, generan una inquietud respecto a la variable económica implícita en el diseño de estos proyectos, ya que las limitaciones presupuestarias de la actualidad para este tipo de intervenciones, son en parte responsables de los diseños deficientes de cada ruta que se desea intervenir, debido a que los presupuestos generados para cada ruta no son siempre un fiel reflejo de las necesidades requeridas para cada camino intervenido, por lo que desde un punto de vista general en base a los requerimientos estructurales, saneamiento y seguridad, es recomendable reevaluar los límites presupuestarios establecidos, procurando que los montos asignados en un futuro, permitan aumentar por medio de diseños más efectivos (eficiente estructuración, saneamiento y seguridad), la durabilidad de las rutas de bajo volumen de tránsito.

En general, el presente estudio entrega aportes para la programación adecuada de este tipo de intervenciones, para los nuevos proyectos que se ejecutarán en un futuro.

8. Bibliografía

- 1] MOP, Dirección de Vialidad , «Informe Final de Evaluación de Programas de caminos básicos,» 2009.
- 2] Guillermo Thenoux Z, et al., Guía de Diseño estructural de Pavimentos para caminos de bajo Volumen de Tránsito, 2002.
- 3] Thenoux Z. Guillermo & Vera A., Sergio. 2001. Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio hexahidratado como estabilizador químico de capas de rodadura granulares (Bischofite) Evaluation of hexahydrated magnesium chloride (Bischofite).
- 4] Cavieres Acevedo, W. P. 2008. Comportamiento de las soluciones básicas de carpetas de rodadura aplicadas a caminos de bajo tránsito. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil., Santiago: Universidad de Chile.
- 5] «www.proesTech.com,» [En línea].
- 6] Mockridge, E. 2004. Tipos de soluciones aplicadas a caminos no pavimentados para el mejoramiento de la carpeta de rodadura. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil., Santiago: Universidad de Chile.
- 7] MOP, Manual de Carreteras Volumen 3, 2013.
- 8] MOP, «Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados,» 2010.
- 9] S. I. Reyes Calderón, 2012. Propuesta de política de conservación para la carpeta de rodadura de soluciones básicas del tipo capa de protección, justificadas técnica y económicamente a través de una herramienta computacional. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil., Santiago: Universidad de Chile.
- 10] MOP, «Manual de Carreteras Volumen 5,» 2013.
- 11] MOP, Manual de Carreteras Volumen 7, 2013.
- 12] MOP, «Política de Conservación Vial Etapa 2-Caminos Basicos.,» 2011.

- 13] Departamento de Gestión Vial, «Red vial Nacional, Dimensionamiento y Características.,» Santiago, Chile., (2010)..
- Departamento de Gestión Vial., Red vial nacional, dimensionamiento y características.,
- 14] Santiago, Chile, 2010.
- Dirección de Vialidad. Subdirección de Mantenimiento. (2005)., Texto Guía Caminos
- 15] Básicos. Santiago, Chile: Primera Versión., 2005.
- B. Mundial., «Commercial Management and Financing of Roads. Technical Paper N°
- 16] 409,» (1998).

ANEXOS

Anexo A

Tabla A 1: Coeficientes Estructurales; Fuente: MC-V3, 2013

| | |
|--|---------------|
| BASES (0 a 250 mm de profundidad) | |
| - Piedras trituradas, graduación abierta | 1,037 |
| - Piedras trituradas, bien graduadas | 1,394 |
| - Tratadas con cemento | |
| Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 4,6$ MPa | 2,400 |
| Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 2,8$ MPa | 2,100 |
| Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $< 2,8$ MPa | 1,600 |
| - Tratadas con cal | 1,400 – 1,600 |
| - Gravas no tratadas | |
| CBR ≥ 100 % | 1,394 |
| CBR = 90 % | 1,232 |
| CBR = 85 % | 1,167 |
| CBR = 80 % | 1,102 |
| CBR = 75 % | 1,037 |
| CBR = 70 % | 0,940 |
| CBR = 60 % | 0,552 |
| CBR = 50 % (mín) | 0,383 |
| SUBBASES (250 a 500 mm de profundidad) | |
| CBR ≥ 40 % | 0,576 |
| CBR = 35 % | 0,290 |
| CBR = 30 % | 0,205 |
| CBR = 25 % (mín) | 0,075 |
| SUBRASANTE (500 a 900 mm de profundidad) | |
| CBR ≥ 20 % | 0,481 |
| CBR = 15 % | 0,357 |
| CBR = 10 % | 0,212 |
| CBR = 9 % | 0,183 |
| CBR = 8 % | 0,133 |
| CBR = 7 % | 0,084 |
| CBR = 6 % | 0,053 |
| CBR = 5 % | 0,033 |
| CBR = 4 % | 0,020 |
| CBR = 3 % | 0,015 |
| CBR = 2 % (mín) | 0,010 |

Tabla A 2: Factores de Ejes equivalentes, Ejes Simples-Rueda Doble; Fuente: MC-V3, 2013

| RANGOS KN | FLEXIBLES | | RIGIDOS | |
|--------------|-----------|----------|----------|----------|
| | pf = 2,0 | pf = 2,5 | pf = 2,0 | pf = 2,5 |
| < 30 | 0,007 | 0,008 | 0,008 | 0,008 |
| 30 - 40 | 0,028 | 0,032 | 0,030 | 0,030 |
| 40 - 50 | 0,083 | 0,092 | 0,085 | 0,086 |
| 50 - 60 | 0,20 | 0,21 | 0,198 | 0,200 |
| 60 - 70 | 0,41 | 0,43 | 0,406 | 0,409 |
| 70 - 80 | 0,76 | 0,77 | 0,753 | 0,756 |
| 80 - 90 | 1,29 | 1,27 | 1,30 | 1,29 |
| 90 - 100 | 2,07 | 1,95 | 2,10 | 2,07 |
| 100 - 110 | 3,17 | 2,85 | 3,23 | 3,14 |
| 110 - 120 | 4,70 | 4,00 | 4,80 | 4,60 |
| 120 - 130 | 6,60 | 5,50 | 6,80 | 6,40 |
| 130 - 140 | 9,20 | 7,20 | 9,40 | 8,70 |
| 140 - 150 | 12,4 | 9,50 | 12,8 | 11,5 |
| 150 - 160 | 16,5 | 12,3 | 17,0 | 15,0 |
| 160 - 170 | 21,6 | 15,6 | 22,2 | 19,3 |
| 170 - 180 | 27,9 | 19,7 | 28,6 | 24,6 |

Los factores de pavimentos flexibles son para NE = 120 mm (5") y los rígidos para H = 230 mm (9")

Tabla A 3: Factores de Ejes Equivalentes, Ejes Doble-Ruedas Dobles; Fuente: MC-V3, 2013

| RANGOS KN | FLEXIBLES | | RIGIDOS | |
|--------------|-----------|----------|----------|----------|
| | pf = 2,0 | pf = 2,5 | pf = 2,0 | pf = 2,5 |
| < 50 | 0,004 | 0,004 | 0,008 | 0,008 |
| 50 - 60 | 0,014 | 0,016 | 0,029 | 0,029 |
| 60 - 70 | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 0,06 |
| 70 - 80 | 0,05 | 0,06 | 0,10 | 0,10 |
| 80 - 90 | 0,09 | 0,10 | 0,17 | 0,17 |
| 90 - 100 | 0,14 | 0,16 | 0,27 | 0,27 |
| 100 - 110 | 0,22 | 0,24 | 0,41 | 0,41 |
| 110 - 120 | 0,33 | 0,36 | 0,60 | 0,61 |
| 120 - 130 | 0,47 | 0,50 | 0,86 | 0,86 |
| 130 - 140 | 0,66 | 0,69 | 1,20 | 1,19 |
| 140 - 150 | 0,89 | 0,92 | 1,63 | 1,61 |
| 150 - 160 | 1,20 | 1,21 | 2,16 | 2,13 |
| 160 - 170 | 1,60 | 1,50 | 2,80 | 2,70 |
| 170 - 180 | 2,00 | 2,00 | 3,60 | 3,50 |
| 180 - 190 | 2,60 | 2,40 | 4,60 | 4,40 |
| 190 - 200 | 3,20 | 3,00 | 5,70 | 5,40 |
| 200 - 210 | 3,90 | 3,60 | 7,10 | 6,60 |
| 210 - 220 | 4,80 | 4,30 | 8,60 | 7,90 |
| 220 - 230 | 5,80 | 5,10 | 10,50 | 9,50 |
| 230 - 240 | 7,00 | 6,00 | 12,60 | 11,3 |
| 240 - 250 | 8,40 | 7,00 | 15,00 | 13,30 |
| 250 - 260 | 9,90 | 8,10 | 17,80 | 15,60 |
| 260 - 270 | 11,7 | 9,30 | 21,00 | 18,2 |
| 270 - 280 | 13,60 | 10,70 | 24,60 | 21,10 |
| 280 - 290 | 15,90 | 12,30 | 28,70 | 24,50 |

Los factores de pavimentos flexibles son para NE = 120 mm (5") y los rígidos para H = 230 mm (9")

Tabla A 4: Factores de ejes Equivalentes Ejes Triple-Rueda Doble; Fuente: MC-V3, 2013

| RANGOS KN | FLEXIBLES | | RIGIDOS | |
|--------------|-----------|----------|----------|----------|
| | pf = 2,0 | pf = 2,5 | pf = 2,0 | pf = 2,5 |
| < 60 | 0,002 | 0,002 | 0,007 | 0,007 |
| 60 - 70 | 0,007 | 0,008 | 0,019 | 0,020 |
| 70 - 80 | 0,012 | 0,013 | 0,034 | 0,034 |
| 80 - 90 | 0,020 | 0,022 | 0,055 | 0,056 |
| 90 - 100 | 0,031 | 0,035 | 0,087 | 0,087 |
| 100 - 110 | 0,047 | 0,053 | 0,130 | 0,131 |
| 110 - 120 | 0,069 | 0,078 | 0,189 | 0,191 |
| 120 - 130 | 0,10 | 0,11 | 0,27 | 0,27 |
| 130 - 140 | 0,14 | 0,15 | 0,37 | 0,37 |
| 140 - 150 | 0,19 | 0,21 | 0,50 | 0,50 |
| 150 - 160 | 0,25 | 0,27 | 0,66 | 0,66 |
| 160 - 170 | 0,33 | 0,36 | 0,86 | 0,86 |
| 170 - 180 | 0,42 | 0,46 | 1,10 | 1,10 |
| 180 - 190 | 0,54 | 0,57 | 1,39 | 1,38 |
| 190 - 200 | 0,68 | 0,71 | 1,74 | 1,72 |
| 200 - 210 | 0,84 | 0,88 | 2,15 | 2,11 |
| 210 - 220 | 1,03 | 1,06 | 2,63 | 2,56 |
| 220 - 230 | 1,25 | 1,28 | 3,19 | 3,08 |
| 230 - 240 | 1,51 | 1,52 | 3,83 | 3,67 |
| 240 - 250 | 1,80 | 1,80 | 4,60 | 4,30 |
| 250 - 260 | 2,10 | 2,10 | 5,40 | 5,10 |
| 260 - 270 | 2,50 | 2,40 | 6,30 | 5,90 |
| 270 - 280 | 3,00 | 2,80 | 7,40 | 6,80 |
| 280 - 290 | 3,40 | 3,20 | 8,60 | 7,90 |
| 290 - 300 | 4,00 | 3,70 | 9,90 | 9,00 |
| 300 - 310 | 4,60 | 4,20 | 11,4 | 10,2 |
| 310 - 320 | 5,30 | 4,70 | 13,1 | 11,6 |
| 320 - 330 | 6,00 | 5,50 | 14,9 | 13,2 |

Los factores de pavimentos flexibles son para NE = 120 mm (5") y los rígidos para H = 230 mm (9")

Anexo B

Tabla B 1: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°1

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 37 | 8 | 14 | 17 | 6 | 5 | 87 |
| OP | 40 | 7 | 13 | 18 | 7 | 4 | 89 |
| | 77 | 15 | 27 | 35 | 13 | 9 | 176 |

Tabla B 2: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°1

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 176 |
|-------------|-----|

| | V Liv. | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camión + de 2 ejes |
|------------|-----------|-----------|------------|-----------------|------------------|--------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 77 | 15 | 27 | 35 | 13 | 9 |

| AÑO | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| 2010 | 0 | 9362 | 16.852 | 27.083 | 3.606 | 12.483 | 69.386 | 69.386 |
| 2011 | 0 | 10065 | 18.116 | 28.979 | 3.841 | 13.170 | 74.170 | 74.170 |
| 2012 | 0 | 10820 | 19.475 | 31.007 | 4.090 | 13.894 | 79.286 | 153.456 |
| 2013 | 0 | 11632 | 20.935 | 33.178 | 4.356 | 14.658 | 84.759 | 238.215 |
| 2014 | 0 | 12505 | 22.505 | 35.500 | 4.639 | 15.464 | 90.614 | 328.829 |
| | | | | | | | Suma = | 328.829 |

Tabla B 3: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°2

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 43 | 8 | 13 | 17 | 7 | 7 | 95 |
| OP | 41 | 7 | 12 | 15 | 7 | 6 | 87 |
| | 84 | 15 | 25 | 32 | 14 | 13 | 183 |

Tabla B 4: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°2

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 183 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camión + de 2 ejes |
|------------|-----------|-----------|------------|-----------------|------------------|--------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 84 | 15 | 25 | 32 | 14 | 13 |

| | EEQ | | | | | | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | | |
| 2010 | 0 | 9362 | 15.604 | 24.762 | 3.884 | 18.031 | 71.642 | 71.642 |
| 2011 | 0 | 10065 | 16.774 | 26.495 | 4.136 | 19.023 | 76.493 | 76.493 |
| 2012 | 0 | 10820 | 18.032 | 28.350 | 4.405 | 20.069 | 81.675 | 158.168 |
| 2013 | 0 | 11632 | 19.384 | 30.334 | 4.691 | 21.173 | 87.214 | 245.383 |
| 2014 | 0 | 12505 | 20.838 | 32.457 | 4.996 | 22.337 | 93.134 | 338.517 |
| | | | | | | | Suma = | 338.517 |

Tabla B 5: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°3

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 43 | 8 | 13 | 16 | 7 | 5 | 92 |
| OP | 40 | 7 | 14 | 19 | 9 | 6 | 95 |
| | 83 | 15 | 27 | 35 | 16 | 11 | 187 |

Tabla B 6: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°3

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 187 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|-----------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 83 | 15 | 27 | 35 | 16 | 11 |

EEQ

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| 2010 | 0 | 9362 | 16.852 | 27.083 | 4.438 | 15.257 | 72.992 | 72.992 |
| 2011 | 0 | 10065 | 18.116 | 28.979 | 4.727 | 16.096 | 77.983 | 77.983 |
| 2012 | 0 | 10820 | 19.475 | 31.007 | 5.034 | 16.981 | 83.318 | 161.300 |
| 2013 | 0 | 11632 | 20.935 | 33.178 | 5.361 | 17.915 | 89.022 | 250.322 |
| 2014 | 0 | 12505 | 22.505 | 35.500 | 5.710 | 18.901 | 95.121 | 345.443 |
| | | | | | | | Suma = | 345.443 |

Tabla B 7: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°4

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 42 | 10 | 11 | 12 | 8 | 3 | 86 |
| OP | 39 | 9 | 12 | 20 | 9 | 7 | 96 |
| | 81 | 19 | 23 | 32 | 17 | 10 | 182 |

Tabla B 8: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°4

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 182 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|-----------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 81 | 19 | 23 | 32 | 17 | 10 |

| | EEQ | | | | | | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | | |
| 2010 | 0 | 11859 | 14.355 | 24.762 | 4.716 | 13.870 | 69.562 | 69.562 |
| 2011 | 0 | 12749 | 15.432 | 26.495 | 5.022 | 14.633 | 74.331 | 74.331 |
| 2012 | 0 | 13706 | 16.590 | 28.350 | 5.349 | 15.438 | 79.432 | 153.763 |
| 2013 | 0 | 14734 | 17.834 | 30.334 | 5.696 | 16.287 | 84.885 | 238.648 |
| 2014 | 0 | 15840 | 19.171 | 32.457 | 6.067 | 17.182 | 90.718 | 329.366 |
| | | | | | | | Suma = | 329.366 |

Tabla B 9: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°5

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 59 | 8 | 17 | 17 | 10 | 10 | 121 |
| OP | 54 | 7 | 14 | 15 | 11 | 9 | 110 |
| | 113 | 15 | 31 | 32 | 21 | 19 | 231 |

Tabla B 10: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°5

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 231 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 113 | 15 | 31 | 32 | 21 | 19 |

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| 2010 | 0 | 9362 | 19.349 | 24.762 | 5.825 | 26.353 | 85.651 | 85.651 |
| 2011 | 0 | 10065 | 20.800 | 26.495 | 6.204 | 27.802 | 91.366 | 91.366 |
| 2012 | 0 | 10820 | 22.360 | 28.350 | 6.607 | 29.332 | 97.468 | 188.834 |
| 2013 | 0 | 11632 | 24.037 | 30.334 | 7.037 | 30.945 | 103.984 | 292.819 |
| 2014 | 0 | 12505 | 25.840 | 32.457 | 7.494 | 32.647 | 110.943 | 403.762 |
| | | | | | | | Suma = | 403.762 |

Tabla B 11 Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°6

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 60 | 8 | 16 | 18 | 7 | 9 | 118 |
| OP | 57 | 9 | 14 | 19 | 9 | 8 | 116 |
| | 117 | 17 | 30 | 37 | 16 | 17 | 234 |

Tabla B 12: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°6

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 234 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 117 | 17 | 30 | 37 | 16 | 17 |

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| 2010 | 0 | 10611 | 18.725 | 28.631 | 4.438 | 23.579 | 85.984 | 85.984 |
| 2011 | 0 | 11407 | 20.129 | 30.635 | 4.727 | 24.876 | 91.773 | 91.773 |
| 2012 | 0 | 12263 | 21.639 | 32.779 | 5.034 | 26.244 | 97.959 | 189.732 |
| 2013 | 0 | 13183 | 23.261 | 35.074 | 5.361 | 27.687 | 104.567 | 294.299 |
| 2014 | 0 | 14172 | 25.006 | 37.529 | 5.710 | 29.210 | 111.627 | 405.926 |
| | | | | | | | Suma = | 405.926 |

Tabla B 13: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°7

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 59 | 8 | 13 | 15 | 12 | 7 | 114 |
| OP | 65 | 9 | 12 | 13 | 17 | 5 | 119 |
| | 124 | 17 | 25 | 28 | 29 | 12 | 235 |

Tabla B 14: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°7

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 235 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 122 | 17 | 25 | 28 | 29 | 12 |

| | EEQ | | | | | | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | | |
| 2010 | 0 | 10611 | 15.604 | 21.666 | 8.045 | 16.644 | 72.570 | 72.570 |
| 2011 | 0 | 11407 | 16.774 | 23.183 | 8.567 | 17.559 | 77.491 | 77.491 |
| 2012 | 0 | 12263 | 18.032 | 24.806 | 9.124 | 18.525 | 82.751 | 160.242 |
| 2013 | 0 | 13183 | 19.384 | 26.542 | 9.717 | 19.544 | 88.371 | 248.613 |
| 2014 | 0 | 14172 | 20.838 | 28.400 | 10.349 | 20.619 | 94.379 | 342.991 |
| | | | | | | | Suma = | 342.991 |

Tabla B 15: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°8

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 56 | 8 | 17 | 15 | 12 | 8 | 116 |
| OP | 67 | 6 | 19 | 17 | 9 | 9 | 127 |
| | 123 | 14 | 36 | 32 | 21 | 17 | 243 |

Tabla B 16: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°8

| | |
|------|-----|
| TMDA | 243 |
|------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 123 | 14 | 36 | 32 | 21 | 17 |

| | EEQ | | | | | | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | | |
| 2010 | 0 | 8738 | 22.469 | 24.762 | 5.825 | 23.579 | 85.373 | 85.373 |
| 2011 | 0 | 9394 | 24.155 | 26.495 | 6.204 | 24.876 | 91.123 | 91.123 |
| 2012 | 0 | 10099 | 25.966 | 28.350 | 6.607 | 26.244 | 97.266 | 188.390 |
| 2013 | 0 | 10857 | 27.914 | 30.334 | 7.037 | 27.687 | 103.829 | 292.218 |
| 2014 | 0 | 11672 | 30.007 | 32.457 | 7.494 | 29.210 | 110.841 | 403.059 |
| | | | | | | | Suma = | 403.059 |

Tabla B 17: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°9

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 83 | 18 | 11 | 7 | 12 | 6 | 137 |
| OP | 82 | 17 | 9 | 5 | 11 | 9 | 133 |
| | 165 | 35 | 20 | 12 | 23 | 15 | 270 |

Tabla B 18: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°9

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 270 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 165 | 35 | 20 | 12 | 23 | 15 |

| | EEQ | | | | | | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | | |
| 2010 | 0 | 21845 | 12.483 | 9.286 | 6.380 | 20.805 | 70.799 | 70.799 |
| 2011 | 0 | 23484 | 13.419 | 9.936 | 6.795 | 21.949 | 75.583 | 75.583 |
| 2012 | 0 | 25246 | 14.426 | 10.631 | 7.237 | 23.156 | 80.696 | 156.279 |
| 2013 | 0 | 27140 | 15.508 | 11.375 | 7.707 | 24.430 | 86.160 | 242.439 |
| 2014 | 0 | 29176 | 16.671 | 12.172 | 8.208 | 25.774 | 92.000 | 334.439 |
| | | | | | | | Suma = | 334.439 |

Tabla B 19: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°10

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 81 | 12 | 17 | 14 | 11 | 5 | 140 |
| OP | 77 | 9 | 16 | 13 | 9 | 5 | 129 |
| | 158 | 21 | 33 | 27 | 20 | 10 | 269 |

Tabla B 20: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°10

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 269 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 158 | 21 | 33 | 27 | 20 | 10 |

| | EEQ | | | | | | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | | |
| 2010 | 0 | 13107 | 20.597 | 20.893 | 5.548 | 13.870 | 74.015 | 74.015 |
| 2011 | 0 | 14091 | 22.142 | 22.355 | 5.909 | 14.633 | 79.129 | 79.129 |
| 2012 | 0 | 15148 | 23.802 | 23.920 | 6.293 | 15.438 | 84.601 | 163.730 |
| 2013 | 0 | 16285 | 25.588 | 25.594 | 6.702 | 16.287 | 90.455 | 254.185 |
| 2014 | 0 | 17507 | 27.507 | 27.386 | 7.137 | 17.182 | 96.719 | 350.905 |
| | | | | | | | Suma = | 350.905 |

Tabla B 21: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°11

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 84 | 13 | 11 | 10 | 7 | 7 | 132 |
| OP | 93 | 11 | 12 | 13 | 9 | 4 | 142 |
| | 177 | 24 | 23 | 23 | 16 | 11 | 274 |

Tabla B 22: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°11

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 274 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 177 | 24 | 23 | 23 | 16 | 11 |

| | EEQ | | | | | | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | | |
| 2010 | 0 | 14980 | 14.355 | 17.797 | 4.438 | 15.257 | 66.828 | 66.828 |
| 2011 | 0 | 16104 | 15.432 | 19.043 | 4.727 | 16.096 | 71.402 | 71.402 |
| 2012 | 0 | 17312 | 16.590 | 20.376 | 5.034 | 16.981 | 76.293 | 147.696 |
| 2013 | 0 | 18611 | 17.834 | 21.803 | 5.361 | 17.915 | 81.524 | 229.220 |
| 2014 | 0 | 20007 | 19.171 | 23.329 | 5.710 | 18.901 | 87.118 | 316.337 |
| | | | | | | | Suma = | 316.337 |

Tabla B 23: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°12

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 85 | 13 | 14 | 18 | 7 | 7 | 144 |
| OP | 73 | 14 | 15 | 19 | 8 | 8 | 137 |
| | 158 | 27 | 29 | 37 | 15 | 15 | 281 |

Tabla B 24: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°12

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 281 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 158 | 27 | 29 | 37 | 15 | 15 |

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | EEQ | |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | | | | | | | del año | Acumulados |
| 2010 | 0 | 16852 | 18.100 | 28.631 | 4.161 | 20.805 | 88.549 | 88.549 |
| 2011 | 0 | 18116 | 19.458 | 30.635 | 4.431 | 21.949 | 94.589 | 94.589 |
| 2012 | 0 | 19475 | 20.917 | 32.779 | 4.720 | 23.156 | 101.047 | 195.637 |
| 2013 | 0 | 20936 | 22.486 | 35.074 | 5.026 | 24.430 | 107.952 | 303.589 |
| 2014 | 0 | 22507 | 24.172 | 37.529 | 5.353 | 25.774 | 115.335 | 418.924 |
| | | | | | | | Suma = | 418.924 |

Tabla B 25: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°13

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 97 | 19 | 18 | 23 | 15 | 9 | 181 |
| OP | 101 | 21 | 21 | 26 | 11 | 6 | 186 |
| | 198 | 40 | 39 | 49 | 26 | 15 | 367 |

Tabla B 26: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°13

| | |
|-------------|-----|
| TMDA | 367 |
|-------------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 198 | 40 | 39 | 49 | 26 | 15 |

| | EEQ | | | | | | del año | Acumulados |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | | |
| 2010 | 0 | 24966 | 24.342 | 37.916 | 7.212 | 20.805 | 115.241 | 115.241 |
| 2011 | 0 | 26839 | 26.167 | 40.570 | 7.681 | 21.949 | 123.207 | 123.207 |
| 2012 | 0 | 28852 | 28.130 | 43.410 | 8.180 | 23.156 | 131.729 | 254.937 |
| 2013 | 0 | 31016 | 30.240 | 46.449 | 8.712 | 24.430 | 140.847 | 395.784 |
| 2014 | 0 | 33343 | 32.508 | 49.700 | 9.279 | 25.774 | 150.603 | 546.387 |
| | | | | | | | Suma = | 546.387 |

Tabla B 27: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°14

| □ | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TxC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 124 | 23 | 19 | 19 | 10 | 8 | 203 |
| OP | 119 | 21 | 20 | 19 | 1 | 9 | 189 |
| | 243 | 44 | 39 | 38 | 11 | 17 | 392 |

Tabla B 28: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°14

| | |
|------|-----|
| TMDA | 392 |
|------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 243 | 44 | 39 | 38 | 11 | 17 |

| EEQ | | | | | | | | |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | del año | Acumulados |
| 2010 | 0 | 27463 | 24.342 | 29.404 | 3.051 | 23.579 | 107.840 | 107.840 |
| 2011 | 0 | 29523 | 26.167 | 31.463 | 3.250 | 24.876 | 115.279 | 115.279 |
| 2012 | 0 | 31738 | 28.130 | 33.665 | 3.461 | 26.244 | 123.238 | 238.517 |
| 2013 | 0 | 34119 | 30.240 | 36.022 | 3.686 | 27.687 | 131.754 | 370.271 |
| 2014 | 0 | 36678 | 32.508 | 38.543 | 3.926 | 29.210 | 140.865 | 511.135 |
| | | | | | | | Suma = | 511.135 |

Tabla B 29: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°15

| □ | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| PO | 97 | 28 | 28 | 19 | 21 | 11 | 204 |
| OP | 92 | 23 | 27 | 21 | 24 | 10 | 197 |
| | 189 | 51 | 55 | 40 | 45 | 21 | 401 |

Tabla B 30: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°15

| | |
|------|-----|
| TMDA | 401 |
|------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 189 | 51 | 55 | 40 | 45 | 21 |

| EEQ | | | | | | | | |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | del año | Acumulados |
| 2010 | 0 | 31832 | 34.328 | 30.952 | 12.483 | 29.127 | 138.722 | 138.722 |
| 2011 | 0 | 34220 | 36.903 | 33.119 | 13.294 | 30.729 | 148.265 | 148.265 |
| 2012 | 0 | 36787 | 39.671 | 35.437 | 14.159 | 32.419 | 158.472 | 306.737 |
| 2013 | 0 | 39547 | 42.646 | 37.918 | 15.079 | 34.202 | 169.391 | 476.128 |
| 2014 | 0 | 42514 | 45.844 | 40.572 | 16.059 | 36.083 | 181.072 | 657.201 |
| | | | | | | | Suma = | 657.201 |

Tabla B 31: Tránsitos Medios Diarios Anuales Ruta N°16

| | V Liv. Taxi | Minibus | Buses | Buses | Camión | Camión | Total |
|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Colec -TXC | Cam 3/4 | Urbanos | IntUrban | 2 ejes | +2 Ejes | |
| Fac. Eq. | 0 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 0,28 | 1,71 | |
| PO | 120 | 8 | 15 | 23 | 14 | 9 | 189 |
| OP | 126 | 7 | 28 | 27 | 15 | 11 | 214 |
| | 246 | 15 | 43 | 50 | 29 | 20 | 403 |

Tabla B 32: Cálculo de ejes equivalentes (EE), Ruta N°16

| | |
|------|-----|
| TMDA | 403 |
|------|-----|

| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes |
|------------|------------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| T.C | 8% | 7,50% | 7,50% | 7,00% | 6,50% | 5,50% |
| Factor T.C | 1,080 | 1,075 | 1,075 | 1,070 | 1,065 | 1,055 |
| F.E | 0 | 1,71 | 1,71 | 2,12 | 0,76 | 3,8 |
| N°V | 246 | 15 | 43 | 50 | 29 | 20 |

| EEQ | | | | | | | | |
|------|-------|-----------|------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|
| | V Liv | Taxibuses | Bus Urbano | Bus Interurbano | Camión de 2 ejes | Camio + de 2 ejes | del año | Acumulados |
| 2010 | 0 | 9362 | 26.838 | 38.690 | 8.045 | 27.740 | 110.675 | 110.675 |
| 2011 | 0 | 10065 | 28.851 | 41.398 | 8.567 | 29.266 | 118.148 | 118.148 |
| 2012 | 0 | 10820 | 31.015 | 44.296 | 9.124 | 30.875 | 126.131 | 244.279 |
| 2013 | 0 | 11632 | 33.341 | 47.397 | 9.717 | 32.573 | 134.661 | 378.940 |
| 2014 | 0 | 12505 | 35.842 | 50.715 | 10.349 | 34.365 | 143.776 | 522.716 |
| | | | | | | | Suma = | 522.716 |

Anexo D

Tabla D 1: Informe Tipo1 Mecánica de Suelos (CBR subrasante).



ANALISIS DE MATERIAL

| | |
|--------------|----|
| Certificado: | 22 |
| Informe: | 3 |

| | | | |
|--------------|--|--------------|------------------------------|
| Ítem: | 5.209-1 | Designación: | Preparación de la Subrasante |
| Contrato: | "Conservación de la Red Vial Comunal, Conservación Camino Básico, Camino F-528, Provincia de Valparaíso" | | |
| Sector: | Reñaca Alto, El Colmo, Viña del Mar | | |
| Contratista: | INCOSS, Ingenieros Constructores Ltda. | | |

| N° Muestra | Análisis Granulométrico | | | | Constantes Físicas | | | | | | | | | Responsable de ensayo | | |
|------------|-------------------------|-------------|------------|-------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------|----------------|------------------------------|------------------|-----|-----------------------|-------------------------------|-----------|--|
| | Tamiz | Abertura mm | % que pasa | Banda | Límites de Atterberg (%) | Densidad Neta (Kg/m ³) | % Chancado | % de Lajas | Índice Laminar | D.M.C.S (Kg/m ³) | % Humedad Óptima | CBR | Clasificación U.S.C.S | | | |
| 1 | 6" | 150 mm | - | - | N-P | 2,676 | - | - | - | 2,017 | 7,1 | 17 | - | Jose Lillo Laboratorista C | | |
| | 4" | 100 mm | - | - | | | | | | | | | | | Exigencia | |
| | 3" | 80 mm | - | - | Identificación de la Muestra | | | | | | | | | | | |
| | 2 1/2" | 63 mm | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | 2" | 50 mm | 100 | - | Procedencia | | Acopio | | | | | | | | | |
| | 1 1/2" | 40 mm | 97 | - | Fecha de Muestreo | | 13-10-2014 | | | | | | | | | |
| | 1" | 25 mm | 92 | - | Fecha de Ensayes | | 14-10-2014 al 16-10-2014 | | | | | | | | | |
| | 3/4" | 20 mm | 88 | - | Km Puntual | | 6430 | | | | | | | | | |
| | 3/8" | 10 mm | 78 | - | Tipo de Material | | Existente | | | | | | | | | |
| | N°4 | 5 mm | 65 | - | Tramo | | 6000-7000 | | | | | | | | | |
| | N°10 | 2 mm | 50 | - | Faja | | Izquierda | | | | | | | | | |
| | N°40 | 0,5 mm | 25 | - | | | | | | | | | | | | |
| | N°200 | 0,08 mm | 13 | - | | | | | | | | | | | | |

| | |
|----------------|--|
| Observaciones: | |
| | |
| | |
| | |

 Jefe de Laboratorio
 Samuel Alvarado
 Lab.-B. Lic. N° B-289

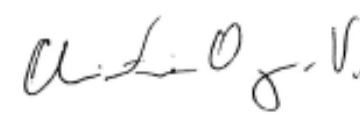
Tabla D 2: Informe Tipo2 Mecánica de Suelos (CBR subrasante).

| INCOSB | | Análisis de Material | |
|--|----------------------|----------------------|-----------------|
| CERTIFICADO N° 1 | | InEN° 1 | |
| CONSTRUCTORA INCOSB Lda | | | |
| CONSERVACIÓN DE LA RED VIAL COMUNAL / CONSERVACIÓN CAMINO BÁSICO | | | |
| Provincia: Caminos, Rutas, F-692 y F-696, Provincia de Valparaíso y Marga Marga V Región | | | |
| Ruta: F-696 DM Puntal 5.960 Dñ | | | |
| Item: S.209-1 Preparación de la Subrasante | | | |
| Tipo: DM DM 5.460 al DM 6.460 Mat. Exotérico | | | |
| DATOS GENERALES | | | |
| Item | 5.209-1-SUBRASANTE | | |
| Tipo de Control | Caracterización | | |
| Ensayo | Análisis de Material | | |
| Fecha Emisión C.E. | 01-oct-14 | | |
| IDENTIFICACION Y LUGAR DE MUESTRO | | | |
| Código de la Capa | SR | | |
| N° Muestra Informes | Fichas | 1 | |
| Muestra N° Control | Fichas | 1 | |
| Subrasante N° | | | |
| Peso Empresa | Exotérico | | |
| Fecha de Ensayo Término | 26-sep-14 | | |
| Lugar de Muestreo | En Sitio | | |
| DM | 5.960 | | |
| Faja Liger | Dñ | | |
| DM Inicio | 5.460 | | |
| DM Final | 6.460 | | |
| Faja | Dñ | | |
| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO | | | |
| mm | U.S.* | | ESPECIF. TM 100 |
| Subcuerpo | 6" | | |
| 150 | 5" | | |
| 100 | 4" | | |
| 80 | 3" | | |
| 60 | 2 1/2" | | |
| 50 | 2" | | |
| 40 | 1 1/2" | | |
| 25 | 1" | | |
| 20 | 3/4" | | |
| 10 | 3/8" | | |
| 5 | N° 4 | 100 | |
| 2 | N° 10 | 85 | |
| 0,5 | N° 40 | 46 | |
| 0,075 | N° 200 | 21 | |
| PRUEBAS PROCTOR, CBR Y DERIVATIVA | | | |
| Chamado | % | | ESPECIF. |
| Desgaste Los Angeles | % | | |
| Densidad Partículas Sólidas | Kg/m³ | 2.694 | |
| Sales Solubles | % | | |
| Equivalente de Arena | % | | |
| Límite Líquido | % | 20 | |
| Índice de Plasticidad | % | NP | |
| Límite de Contracción | % | | |
| Humedad Óptima | % | 9.9 | |
| D.M.C.E. | Kg/m³ | 2.035 | |
| CBR AL 99% D.M.C.E. | % | 25 | ≥ 20 % |
| AASHTO | | A1b BR00 | |
| Densidad Máxima | Kg/m³ | | |
| Densidad Mínima | Kg/m³ | | |

Observaciones:



INCOSB S.R.L.
Laboratorio Vial B11a 720 L N.V.



Anexo E

E.1 Imágenes de rutas seleccionadas.

A continuación se observan ilustraciones para cada ruta seleccionada en la Región de Valparaíso, las cuales describen las zonas donde se encuentran emplazadas las rutas estudiadas.

Ilustración E 1: Auco - Cruce E-877 (ex Barón)

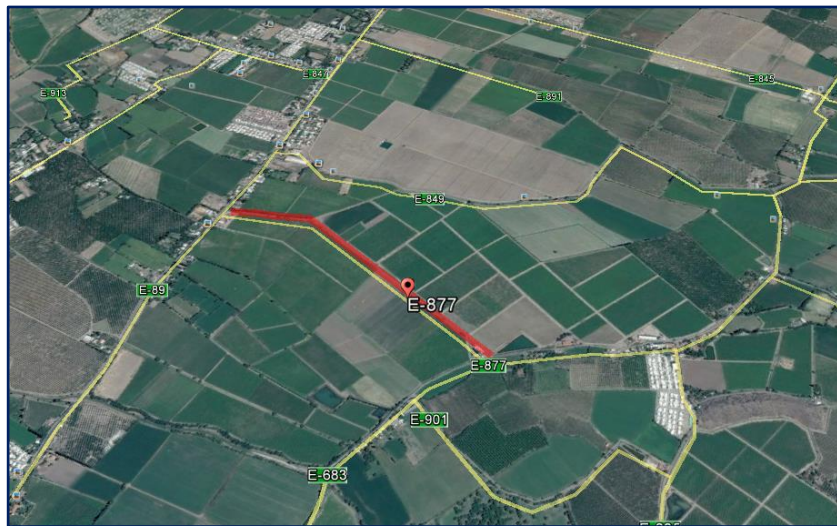


Ilustración E 2: Cruce E-35 (Puente Illalolén)-Valle Hermoso-La Higuera

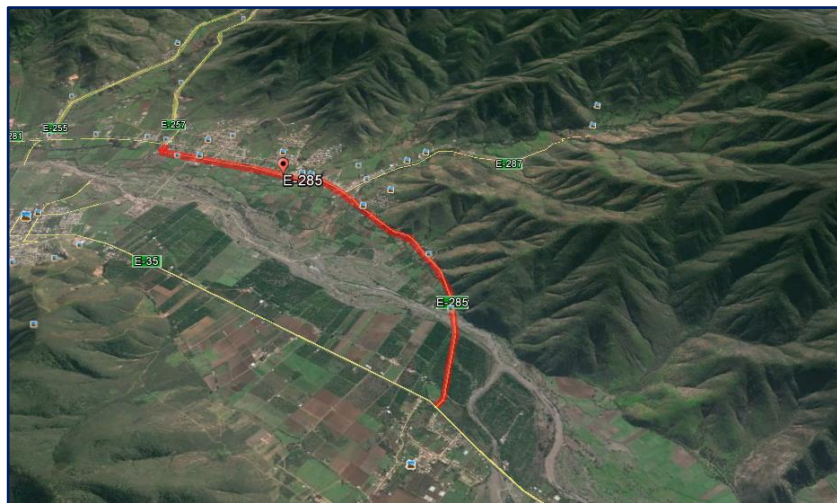


Ilustración E 3: Putaendo - Resguardo los Patos, Rol: E-525



Ilustración E 4: Catemu - Cerrillos - Tallagua, Rol: E-615

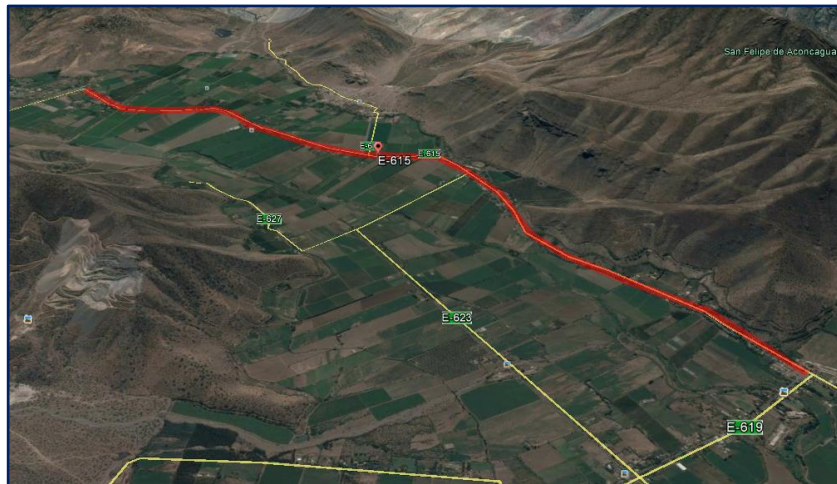


Ilustración E 5: Escuela Agrícola - Las Vacas, Rol: E-619

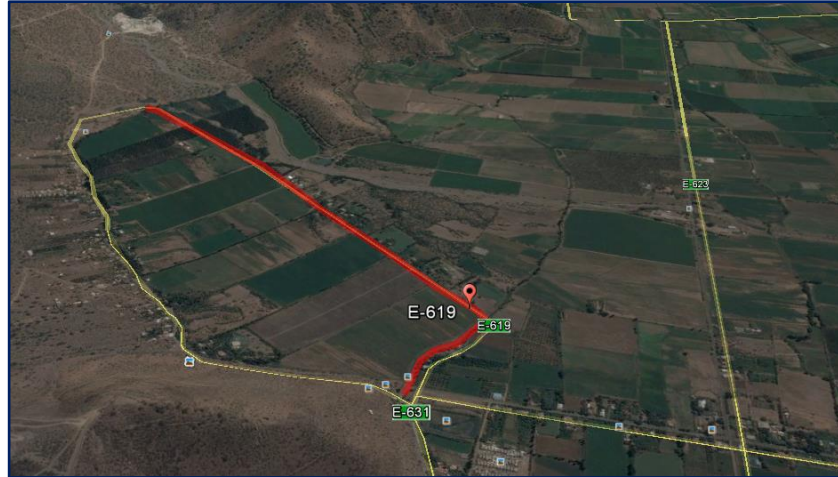


Ilustración E 6: Nogales - Hijuelas - Catemu, Rol: F-301-6

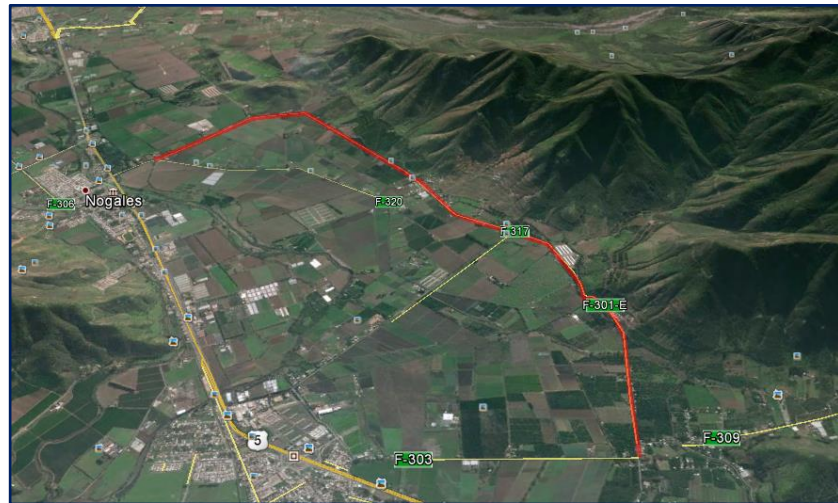


Ilustración E 7: Cementerio Casuto - Potrerillos, Rol: E-859



Ilustración E 8: Alicahue-Chincolco-Pedernal, Rol: E-375



Ilustración E 9: Palquico.-Frutillar, Rol: E-315

